

**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 I/ Том I/ Tom I



Stanisław Fic
Danuta Barnat-Hunek
Piotr Smarzewski
Bogumiła Zadrożniak

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 I/ Том I/ Tom I

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

**Stanisław Fic
Danuta Barnat-Hunek
Piotr Smarzewski
Bogumiła Zadrozniak**

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. Mikhail Hrytsuk

Translation/ Перевод/ Tłumaczenie

Jakub Karbowski, Maciej Szelağ

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 978-83-64881-10-7

Edition/ Тираж/ Nakład: 150 egzemplarzy

Number of printed sheets/ Количество страниц/

Liczba arkuszy wydawniczych: 11,3

The publication is distributed free of charge

Издание распространяется бесплатно

Publikacja dystrybuowana bezpłatnie

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

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

Wydawnictwo PSW JPPII
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.agencjatop.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

I. RETURN TO TRADITION – THE POSSIBILITY OF CULTIVATION OF FIBROUS HEMP IN THE EASTERN POLAND.....	17
1.1 Introduction.....	17
1.2 History of hemp cultivation	17
1.3 Soil-climate requirements	19
1.4 Agronomic requirements.....	20
1.5 The economic importance of hemp	22
1.6 The perspective of hemp cultivation	27
1.7 Summary	28
Bibliography	29
II. RESEARCH AND ANALYSIS OF THE RESULTS OBTAINED ON THE BASIS OF THE COMPOSITE MADE OF HEMP AND BINDER IN THE FRAMEWORK OF THE PROJECT.....	30
2.1 Introduction.....	30
2.2 Experimental procedure	39
2.3 Composites properties	44
2.4 Results and discussion	50
2.5 Summary	56
Bibliography	57
III. TECHNOLOGICAL GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF CLEAN AND ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS WITH COMPOSITE FILLING TIMBER FRAME	59
3.1 Execution of the foundations	59
3.2 Slab foundation	61
3.3 Strip footings	62
3.4 Technology of walls erection using hemp-lime composite	65
3.5 Locating of wooden frame.....	68
3.6 The central placement of the wooden framework in relations to the thickness of the wall	69
3.7 Placing wooden frame on the inner side of wall	71
3.8 Solutions of inner wall and corners	73
3.9 Application techniques of hemp-lime mixtures.....	75
3.10 Wires transfer through the walls	78
3.11 Technology of roof execution	79
3.12 Rafter roof construction	79
3.13 Truss structure.....	82
Bibliography	85

СОДЕРЖАНИЕ

I. ВОЗВРАЩЕНИЕ К ТРАДИЦИИ – ВОЗМОЖНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ВОЛОКОННЫХ КОНОПЛЕЙ В РАЙОНЕ ВОСТОЧНОЙ ПОЛЬШИ	87
1.1 Введение	87
1.2 История выращивания конопли.	87
1.3 Почвенно-климатические требования.	89
1.4 Агротехнические требования.	91
1.5 Экономическое значение конопли.	94
1.6 Перспективы выращивания конопли	99
1.7 Подведение итогов	101
Библиография	102
 II. АНАЛИЗ, ПОЛУЧЕННЫХ ИТОГОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ, НА БАЗЕ КОНОПЛЕЙ И ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА СДЕЛАННЫХ В РАМКАХ ПРОЕКТА	104
2.1 Введение	104
2.2 Экспериментальная процедура	115
2.3 Свойства композитов	121
2.4 Итоги и дискуссия	129
2.5 Подведение итогов	135
Библиография	136
 III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ПОСТРОЙКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ, ЗАПОЛНЯЮЩИХ ДЕРЕВЯННЫЙ КАРКАС	138
3.1 Выполнение работ по фундаменту.	138
3.2 Плита фундамента	139
3.3 Ленточный фундамент.	142
3.4 Технология строения стен с использованием известково-конопляного композита	144
3.5 Локализация деревянной рамы	147
3.6 Центральная локализация деревянной рамы по толщине стены	148
3.7 Локализация деревянной рамы по внутренней стороне стены	150
3.8 Решения внутренней стены, а также притолоки	152
3.9 Технология аппликации известково-конопляной смеси	154
3.10 Проведение проводов через стены	157
3.11 Технология изготовления крыши.	159
3.12 Стропильная конструкция крыши.	159
3.13 Ферменная конструкция	163
Библиография	166

SPIS TREŚCI

I. POWRÓT DO TRADYCJI – MOŻLIWOŚĆ UPRAWY KONOPI WŁÓKNISTYCH W REJONIE POLSKI WSCHODNIEJ.	167
1.1 Wstęp	167
1.2 Historia uprawy konopi.	167
1.3 Wymagania klimatyczno-glebowe.	169
1.4 Wymagania agrotechniczne	170
1.5 Znaczenie gospodarcze konopi	172
1.6 Perspektywy uprawy konopi	177
1.7 Podsumowanie	179
Bibliografia.	179
II. BADANIA I ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW KOMPOZYTÓW NA BAZIE KONOPI I SPOIWA WYKONANYCH W RAMACH PROJEKTU	181
2.1 Wstęp	181
2.2 Procedura eksperymentalna	190
2.3 Właściwości kompozytów.	195
2.4 Wyniki i dyskusja	202
2.5 Podsumowanie	207
Bibliografia.	208
III. WYTYCZNE TECHNOLOGICZNE DO REALIZACJI BUDYNKÓW EKOLOGICZNYCH I ENERGOOSZCZĘDNYCH Z KOMPOZYTÓW WYPEŁNIAJĄCYCH SZKIELET DREWNIANY.	210
3.1 Wykonanie fundamentów.	210
3.2 Płyta fundamentowa	211
3.3 Ławy fundamentowe	213
3.4 Technologia wznoszenia ścian z wykorzystaniem kompozytu wapienno-konopnego.	215
3.5 Lokalizowanie ramy drewnianej	218
3.6 Centralne umieszczenie ramy drewnianej względem grubości ściany	219
3.7 Umieszczenie drewnianej ramy po wewnętrznej stronie ściany.	221
3.8 Rozwiązania ściany wewnętrznej oraz naroża.	222
3.9 Techniki aplikacji mieszanki wapienno-konopnej.	224
3.10 Przeprowadzenie przewodów przez ściany.	227
3.11 Technologia wykonywania dachu	228
3.12 Konstrukcja krokwiowa.	228
3.13 Konstrukcja kratownicowa	231
Bibliografia.	233

Introduction

This monograph summarizes the work carried out in the project entitled "Development of technology for the construction of clean and energy efficient houses with composite filling timber frame".

It was a project of Cross Border Cooperation Poland-Belarus-Ukraine 2007–2013 financed by European Union within European Neighborhood and Partnership Instrument No. IPBU.02.01.00-06-704/11-00. The project was implemented in Pope John Paul II State School of Higher Education (PSW) in Białą Podlaską and in the State Technical University (PUT) in Brest, Belarus. Within the framework of the project works were divided into two tasks that were performed simultaneously in the PSW in Białą Podlaską and PUT in Brest.

Presented monograph contains the work done in the PSW in Białą Podlaską, which constitutes the first part of the tasks carried out by a research team of the PSW. The second part is a separate study that was done by a research team of the State Technical University in Brest.

Monograph consists of three chapters. In the first chapter the characteristics of hemp fiber for the possibility of cropping in Eastern Poland were described. In the second chapter the wide range of composites research carried out with shives filler and binder of different modifications were shown. The study included the determination of the composition of composite mixtures and evaluation of physico-mechanical properties of hardened material. Laboratory studies were designed to identify the optimum composition of composite to the practical application in clean and energy efficient buildings. In the third chapter technological guidance in the implementation of energy efficient and clean buildings were provided. The various stages of the building erection from the foundations to the roof were described. Studies described in the monograph as well as the technology of buildings erection can be helpful in a practical application for the purposes of design, as well as in the performing of clean and energy efficient buildings.

The authors of the studies make up thanks to Rector, prof. Józef Bergier for assistance in the implementation of the project and all other people who have taken part in it. We give special thanks to MSc. Agnieszka Karwacka and Mr. Mieczysław Piasta – employees of PSW in Białą Podlaską for help with the implementation of laboratory tests.

*Kindest regards
Associate Professor Stanisław Fic
Project Coordinator*

Białą Podlaską, October-November 2015

Введение

Настоящая монография является подведением итогов по работам, выполненным на счет проекта: «Разработка технологии для строительства экологически чистых и энергоэффективных домов с композитными наполняемыми конструкциями».

Это был проект трансграничного сотрудничества Польша-Белорусь-Украина 2007–2013 софинансированный Европейским Союзом в рамках Европейского инструмента соседства и партнерства № IPBII.02.01.00-06-704/11-00.

Проект был реализован в Государственной высшей школе им. Папы Римского Иоанна Павла II в городе Бяла-Подляска, а также в Брестском государственном техническом университете в Белорусии.

В рамках проекта, работу разделено на две задачи, которые выполнялись в одно время в ГВШ в г. Бяла-Подляска, но и в БГТУ в Бресте.

Представленная монография включает в себя работы, выполненные в ГВШ в городе Бяла-Подляска, и является первой частью реализованных задач группой исследователей ГВШ. Вторая часть, обработанная, как отдельный труд, была выполнена и проведена научно-исследовательской группой Брестского технического университета.

Монография состоит из трех разделов. В первом разделе презентуется характеристика волоконных коноплей по возможностям выращивать их на территории Восточной Польши. Во втором разделе представлен широкий спектр проводимых исследований композитных материалов с кастровым заполнителем, а также вяжущим веществом разного модифицированного состава. Исследования охватывали установление исходного состава смесей композита, а также оценку физико-механических свойств затвердевшего материала. Проведенные лабораторные исследования, были нацелены на указание оптимального состава композитного материала, для практического использования в элементах энергосберегательных и экологических зданий. В третьем разделе представлены технические указания, помогающие при постройке энергосберегательных и экологических зданий. В настоящей монографии, описываются последовательные этапы возведения постройки – от кладки фундамента, до самой крыши. Описанные в труде проведенные исследования, а также технологии возведения, могут быть помощными, как в практическом использовании для проектных целей, так и в подрядных работах экологических и энергосберегательных зданий.

Авторы монографии выражают благодарность ректору проф. Юзефу Бергеру за оказанную помощь в реализации проекта, а также всем другим лицам за то, что приняли в нем участие. Особенно благодарим Госпожу магистр инженер Агнешку Карвацку и Господина Мечислава Песьту – сотрудников ГВШ – за помощь во время реализации лабораторных исследований.

С уважением,
проф., док. инж. Станислав Фиц
Руководитель Проекта

г. Бяла-Подляска, октябрь-ноябрь 2015

Wstęp

Niniejsza monografia jest podsumowaniem prac wykonanych w projekcie pt. „Opracowanie technologii budowy domów ekologicznych i energooszczędnych z kompozytów wypełniających szkielet drewniany”.

Był to Projekt Współpracy Transgranicznej Polska-Białoruś-Ukraina 2007–2013 współfinansowany przez Unię Europejską w Ramach Europejskiego Instrumentu Sąsiedztwa i Partnerstwa nr IPBU.02.01.00-06-704/11-00. Projekt był realizowany w Państwowej Szkole Wyższej im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej oraz w Państwowym Uniwersytecie Technicznym w Brześciu na Białorusi. W ramach projektu pracę rozdzielono na dwa zadania, które wykonano równocześnie w PSW w Białej Podlaskiej oraz w PUT w Brześciu.

Przedstawione opracowanie zawiera prace wykonane w PSW w Białej Podlaskiej, które stanowią pierwszą część zadań zrealizowanych przez zespół badawczy PSW. Część druga to oddzielne opracowanie, które zostało wykonane przez zespół naukowo–badawczy Państwowego Uniwersytetu Technicznego w Brześciu.

Monografia składa się z trzech rozdziałów. W rozdziale pierwszym przedstawiono charakterystykę konopi włóknistych pod kątem możliwości upraw na terenie Polski Wschodniej. W rozdziale drugim przedstawiono szeroki zakres wykonanych badań kompozytów z wypełniaczem paździerzowym oraz spoiwem o różnych modyfikacjach składu. Badania obejmowały ustalenie składu wyjściowego mieszanek kompozytu oraz ocenę właściwości fizyko-mechanicznych stwardniałego materiału. Przeprowadzone badania laboratoryjne miały na celu wskazanie optymalnego składu kompozytu do praktycznego zastosowania w elementach budynków energooszczędnych i ekologicznych. W rozdziale trzecim przedstawiono wytyczne technologiczne pomocne przy realizacji budynków energooszczędnych i ekologicznych. Opisano poszczególne etapy wznoszenia budynku od fundamentów aż po dach. Opisane w monografii przeprowadzone badania, a także technologie wznoszenia mogą być pomocne w praktycznym zastosowaniu do celów projektowych, jak również w wykonawstwie budynków ekologicznych i energooszczędnych.

Autorzy opracowania składają podziękowania JM Rektorowi, prof. zw. dr. hab. Józefowi Bergierowi za pomoc w realizacji projektu oraz wszystkim innym osobom, które brały w nim udział. Szczególne podziękowania składamy Pani mgr inż. Agnieszce Karwackiej i Panu Mieczysławowi Pieście – pracownikom PSW w Białej Podlaskiej, za pomoc przy realizacji badań laboratoryjnych.

*Z wyrazami szacunku
prof. nadzw. dr hab. inż. Stanisław Fic
Kierownik Projektu*

Biała Podlaska, październik-listopad 2015

CHAPTER I

RETURN TO TRADITION – THE POSSIBILITY OF CULTIVATION OF FIBROUS HEMP IN THE EASTERN POLAND

1.1 Introduction

Macro-region of Eastern Poland is a compact area with the lowest level of economic development in Poland and is one of the weakest areas in the European Union. The nature of the problems affecting adversely the socio-economic situation and development prospects of the region have largely structural character, which is a consequence of historical circumstances. They are additionally negatively strengthened by the effects of peripherality location of macro-region at the external borders of the European Union, for which are largely still less developed areas. Back to the roots, that is, the cultivation of fibrous hemp, particularly in parts of the Eastern Poland, is an opportunity for agriculture and, in particular, to improve the economic situation of households.

1.2 History of hemp cultivation

European hemp tycoon is France. Cultivation of non-narcotic hemp is very prevalent in Germany [1,2]. Poland has a long tradition of hemp cultivation. They included mostly Eastern Poland areas – region of Lublin, Podlachia and also region of Poznań. The first studies on the cultivation, production of fiber, processing technology and material management were conducted during the pre-war period. Native variety of hemp gave excellent quality of

fiber on canvas, rope and did not have narcotic properties. Due to the time-consuming and costly process of hemp processing they have been forced out of the market by rape, imported cotton, jute, sisal and plastic. In the 1960s fibrous plants crop area was approximately 30 thousand hectares. Problems with disposal and low profitability of the hemp production, made farmers gradually resigning with the cultivation of this plant. Total collapse occurred in the early 1990s, when hemp-growing area has fallen sharply from 2650 hectares in 1989 to 48 hectares in 1992. In the following years cultivation of hemp almost completely stopped, also in the Lublin region. According to the data of the Central Statistical Office in 2011, there have been only 2 hectares of hemp cultivation in the Lublin region. These plants have been forgotten with the development of technology and the progress of civilization. To exclude the hemp crop helped spread of the drug produced from Indian hemp-marijuana. Currently hemp cultivation are subjected to sharp legal rigor, which determines the law of 24 April 1997 on counteracting a drug addiction. It introduced the division of hemp for fibrous and other, that could serve the purposes of intoxicating. As fibrous hemp are considered plants containing less than 0.2% of the THC (tetrahydrocannabinol) by weight, in the dry matter of the herb. Plants with higher THC content are considered as narcotic, and their cultivation, marketing and possession are prohibited. The law treats hemp as poppy, or plant under the supervision of the close, even if there are cultivated the varieties of trace amount of narcotic substances. Non-narcotic variety of hemp are very prevalent in Germany, where from them a lot of cosmetic products and foodstuffs are produced, as well as thermal insulation materials used in construction industry. The ban on the cultivation of highly narcotic hemp varieties (e.g. India) contributed to search for new varieties of this plant. In a national register of the Central Research Centre for Cultivars (COBORU) six varieties of hemp are located, bred in the Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan: Białobrz eskie, Beniko, Rajan, Tygra, Wojko and Wielkopolskie. They are monoecious hemp, a fibrous, containing less than 0.2% of psychoactive substances (THC), and at the same time with high economic value.

1.3 Soil-climate requirements

Fibrous hemp varieties registered in the COBRU national register have growing period adapted to the temperate climate, so they can be successfully cultivated in Eastern Poland. Polish variety of monoecious hemp belong to the Central European forms. They are suitable for temperate conditions, and ensuring the necessary for their proper development requirements they can be grown throughout the country [10]. Ensuring optimal conditions of soil and climate and use of right agrotechny gives a high yield of specific technological parameters of seeds, straw and fiber. During the growing season hemp requires 200-300 mm of rainfall, however, in the cultivation of hemp a much larger role is enough water in the soil than the large amount of rainfall [7]. For the correct development of hemp total amount of rainfall is not only important, but also its distribution during the growing season. Water consumption is correlated with the intensity of plant growth - the greatest is during the "firing plants in stem". In terms of Poland total amount of rainfall is enough for proper growth of hemp, because their root system - if not prevent ground water level or type of substrate - reaches deep, allowing to retrieve water from the deeper layers of the soil and to survive periods of drought. Despite the strong demand for water hemp badly endure high levels of ground water, which in mineral soils should not be higher than 80 cm. Excessive humidity exceeding 80% of the water capacity of soil inhibits the growth of root system and negatively reflects on the hemp growth. Hemp belongs to the thermophilic plants. Heat demand of hemp is relatively high. In the geographic zone between 51° and 58° amount of heat during the growing of hemp is 2000 -2600°C. Heat demand during the period from beginning to the technical maturity of hemp is 1900-2000°C, and to the biological maturity is 2700-3000°C. For the correct development of hemp very important is enough heat during their most intense growth i.e. in June and July. Previous observations have shown that the low temperatures and lack of rainfall in this period have an inhibiting effect on growth and reflect adversely on the yields of straw, fiber and seeds, while optimum temperature in these months provides daily growths of hemp in excess of 10-12 cm. The seeds germinate at a temperature of 8-10°C within 8-12 days. Young plants endure frosts to -6°C [13,3],

which allows relatively early sowing of hemp, achieving biological maturity no later than mid-September. In our climatic conditions this is essential to the need to dry of straw and seeds. Temperature and rainfall interacts with each other, and the plants are able to compensate for itself the effect of adverse weather conditions, prevailing in one of the phases of development. Sowing is an essential part of agrotechny, because the development of hemp in largely depends on the amount of light and, in particular, the length of the day (under long day phase of vegetative growth is extended). Hemp is a plant of intensive growth. Very quickly they produce an enormous amount of green mass. One of the basic conditions for obtaining a good yield is choosing the correct soil. Hemp is considered as river valleys and lowlands plants. The most relevant the fertile soil, rich in humus, nitrogen and calcium, neutral or slightly alkaline [10,4]. The light sandy soils and heavy clay soil should be avoided, as well as sites constantly waterlogged. Great post are sites on which hemp find good conditions for development and that in addition, purify them from weeds. Made in the Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan analysis of climate and soil conditions in Poland, and hemp requirements in this area showed that the cultivation of this plant is available almost all over the country.

1.4 Agronomic requirements

Position in rotation. Hemp have very good self-tolerance, i.e. with adequate soil fertility and fertilization rate they can be cultivated many times at the same position without loss of yield. Please note, however, that the conditions conducive to the spread of fungal diseases and cabbage stem flea beetle. In determining the proper position of the rotation the following hemp characteristics should be taken into account:

- introduction hemp to the rotation can be thought as a remove weeds intervention,
- generating large amounts of biomass can cause weeds blocking,
- as a result of the distribution of deep and well-developed root system provide a good airing of the soil and humus supply,

- shadowing and protecting the soil leave it in a good structure, so they are a great predecessor before for cereals (in the case of winter wheat are causing yield uplift of about 20%).

Fertilization. Hemp with the rapid growth of biomass need not only fertile soils, but also adequate fertilization. The site is weaker, the stronger should be fertilized. Recommended doses in clean component are:

- 90-120 kg/ha N,
- 70-100 kg/ha P_2O_5 ,
- 150-180 kg/ha K_2O ,
- on acidulated soils 15-20 q/ha CaO.

The individual nutrients affect differently on the quality and quantity of the yield obtained: nitrogen affects the growth of plants, potassium is used in the formation of the fibers and phosphorus takes an active part in the seed development. As in the case of the formation of the biomass of other plants, a decisive role in shaping the heights of straw and fibers yield plays nitrogen. Excessive nitrogen dose extends the period of hemp growing, favors exuberance of plants and decreases content and the quality of the fibers in the stems.

Sowing date. The relevant date for sowing to a large extent is determined by the course of the weather conditions in the spring and is essential for the cultivation of hemp. In southern Poland, the optimum date for sowing hemp is I and II decade of April, in central Poland II and III decade of April, and in northern Poland extends to mid-May. Sowing hemp in cold soil cause excessively long germination and growth of the percentage of the disappearance of plants. However, excessive delay of sowing shortens the period of the growing season by reducing the amount and quality of the crop. Hemp planted very late i.e. at the beginning of July, are maturing a little later than those sown in early April, however, they give much lower straw yields, especially fibers and seeds.

Density of sowing and row spacing. Only certified seed are planted. The optimum sowing density of hemp depends primarily on the allocation of the yield and soil-climate conditions. The number of plants on the surface is essential for performance and quality of fibers. On plantations producing seeds recommended seeding is 10-15 kg/ha and row spacing of 50 cm. On industrial

plantations row spacing should be about 7.5-15 cm, and the amount of sowing depends on the purpose of the crop and ranges from 40 to 70 kg/ha:

- 30-40 kg/ha – bio-composites,
- 60-70 kg/ha – cellulose (textile purposes).

Care treatments. In view of the strong growth of hemp and competitiveness in relation to weeds, care treatments may be unnecessary, especially in the cultivation for fiber. However, if the area remains in a weak culture, it is recommended to use in pre-growing phase Afalon at a dose of 1-1.2 kg/ha.

Pests and diseases. Hemp only to a small extent, or not at all do not require the use of plant protection products. However, with the prevalence of crop and concentration of hemp plantations must reckon with the possibility of pests (e.g. fleas hop and European corn borer) and diseases (such as seedling blights, gray mold, *Sclerotinia sclerotiorum*).

Harvest date. Hemp harvest date belongs to the most important factors affecting the size and quality of the crop. It depends primarily on the conduct of the climatic conditions during the growing season, variety and cultivation guidelines – it takes place in the months of August-September. At full maturity, when the seeds mature in the central part of the panicle seed plantations are collected – delay of equipment causes spillage of seeds and losses caused by the feeding birds, the presence of diseases and reduce the class of seeds. On industrial plantations within this time we get high yields of the fibers and a bit lower quality of seeds, which are industrial material (e.g. oil or food for birds or fish). A collection of 1-2 weeks after florescence allows to obtain a high yield of strong fiber, while picking up about 2 weeks earlier we get a gentle spinning fiber.

1.5 The economic importance of hemp

With the increasing ecological awareness and the search for alternative sources of raw materials in the 1990s last century in Europe and around the world a hemp were discovered again as attractive for agriculture and many industries. This is evidenced by very broad use of this plant, presented in Fig. 1.1.

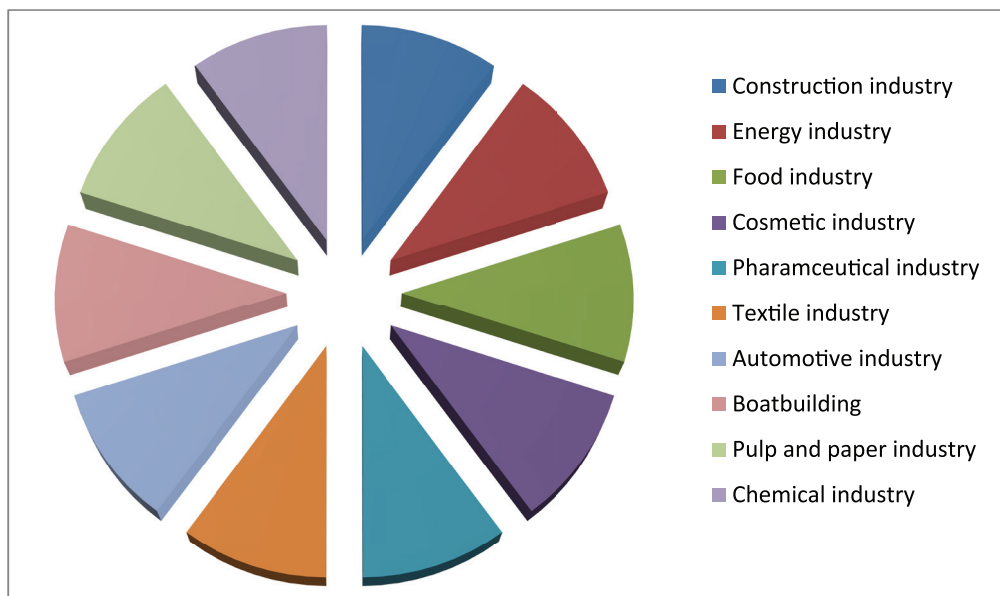


Figure 1.1. The possibility of using fibrous hemp in the industry

In the construction industry shives and hemp scraps are applied, i.e. packages used as organic thermal insulation. In Europe, increasingly popular becomes the technology of Hempcrete production, using the lime and hemp. This material is seven times more durable than concrete, and about half weight, non-flammable, which after the demolition of the building can be used as fertilizer. It is used as the insulation material, for the construction of roofs, walls and floors. It is waterproof, non-flammable, does not rot and, if necessary, is completely decomposed. Hemp shives are also used in the furniture industry and work very well as thermal insulation. Hemp have good insulating properties: do not let the heat while not close access of air, which limits the occurrence of fungi and moisture. In a Poznan at the University of Life Science in the context of the experimental project eco-friendly house made from hemp was built. This is the first building of this type in Poland. Construction technology with the use of hemp is characterized by unique ecological features, mainly thanks to the properties of CO₂ absorption by the plant.

Energy industry. Obtained annually the hemp biomass is a valuable raw material. The energy source can be not only the whole plant, but also a by-product resulting from its processing, i.e. shives constituting 70-75% of yield. Hemp shives occur in the form of briquettes suitable for fuel and they are a great source of renewable energy. Hemp shives are waste containing a lot of lignin and cellulose, which is why they are suitable for biomass – when burning them more energy than when burning wood is formed. They give so much heat, what medium quality coal, but they are cheaper. Hemp shives have the highest energy efficiency of the basic agricultural products. In the laboratory of the Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan using PN 81G-04532 energy value of straw and hemp shives was evaluated, as well as certain species of annual plants, perennial and wood pellets - test results are shown in Fig. 1.2. Studies have shown that the energy value of hemp exceeds 18 MJ/kg. In comparison, the wood is characterized by not only lower heat of combustion, at 17 MJ/kg, but also before palletizing must be subjected to a process of drying and grinding, which significantly increases the cost of obtaining the raw material [9].

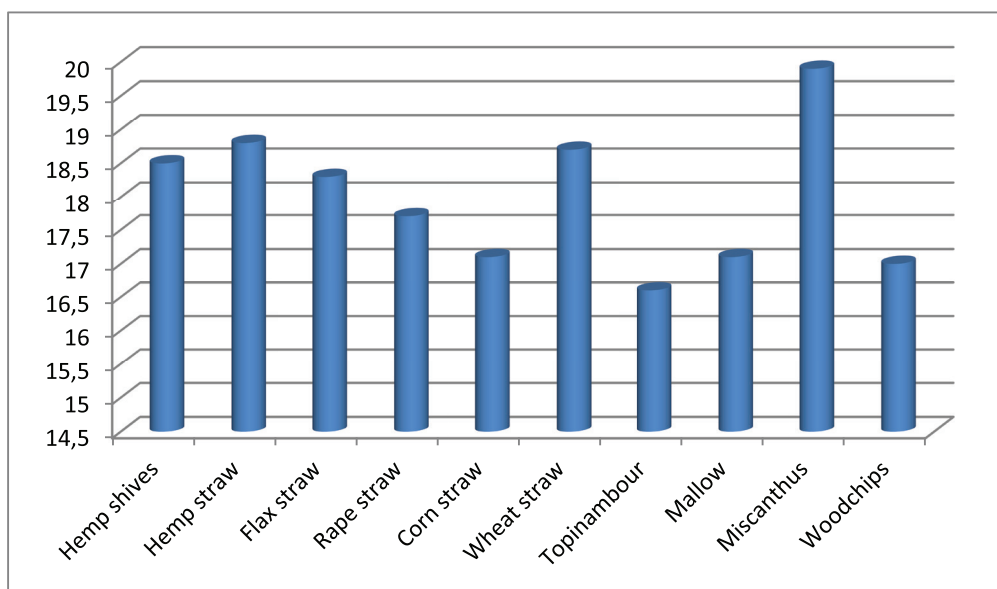


Figure 1.2. Heat of combustion (in MJ/kg) of selected plant species according to the Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan

Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan has great hope in using hemp to produce biomass. Employees of the Institute breed new species of hemp, which grow very quickly and within 4 months reach a height to 3.5 m. Thanks to that from 1 ha of plantation, 15 tons of biomass can be received. Hemp are becoming alternative for all renewable energy sources, even in relation to forests. Biomass from fibrous hemp burns giving off less carbon dioxide and monoxide than coal or natural gas, which makes it possible to produce eco-friendly hemp fuel. Hemp tend to absorb CO₂, therefore, its cultivation for energy purposes has a beneficial effect on nature. In the Polish climate there are very good conditions for the cultivation of hemp – is a long day, which accelerates its growth.

Food industry, in which oil and hemp seeds are prized because of its high nutritional value. From hemp we can get oil, sweets, bread, butter. Residues are used as feed, and seeds are used as bird feed. In many countries, hemp are a food source: in China roasted seeds are a popular snack, in Russia and Latvia butter and dietary oil are produced. In old-polish culinary rules hemp oil is referred as fasting and is recommended as an addition to many dishes.

Cosmetic industry, in which hemp are used to manufacture of creams and ointments on dry skin, psoriasis, acne, muscle pain and aging skin. Hemp oil has high nutritional value and powerful regenerative action at the level of the skin cells. It cleans, nourishes, supplies the cells with energy, improves their water management, and helps remove dead cells.

Pharmaceutical industry. Due to the content of number of medicinal substances in the fibrous hemp, they are used as anxiolytic, painkiller, antipsychotic, inflammatory, antioxidant, antispasmodic drug, and as an antibiotic. Hemp are used to produce the Sativex drug, which combats neuropathic pain appearing in patients with multiple sclerosis. Hemp are also used for the production of another drug called Mariol, used to treat AIDS and anorexia. Hemp ingredients likely be used to create a preparation known as Acomplia, used to fight addiction and obesity, which is in the production stage.

Textile industry. Hemp clothes are light, airy, breathable and durable. From hemp fabrics, knitted fabrics, nonwovens and technical

products are produced. Hemp belongs to the oldest cultivated plants. In the straw of fibrous hemp depending on the variety, is a 20-30% of fiber. 500 years B.C. in China hemp fiber was used in the manufacture of clothing, ropes and cords. Hemp fabrics are completely natural, pleasant for the body and produce the effect of "second skin", they are well breathable and protect body by variable thermal conditions. In the summer, they give a feeling of cold and warm in the winter, even if the fabric is wet. Hemp materials do not cause allergic reactions and skin irritation. Naturalness, environmental performance and healthy character is preserved at growing plants, in which chemical fertilizers and synthetic components are not applied. In Poland, a distributor of hemp clothing is the Ekokonopie company.

Automotive industry. Hemp fibers were tested as an ingredient used in the manufacture of car body. Vehicles made from hemp were produced by automotive industry visionary, Henry Ford in 1941. Right now elements made from hemp can be found in many German cars. A large part of the hemp harvest in Germany are used by the local automotive industry. In 2008 the Lotus Cars company announced a new kind of a "green car" made of hemp-based material, model Eco Elise. Motive company has produced a small electric car, weighing approximately 850 kg, whose body is made from light, durable and rust-resistant laminate, formed on the basis of hemp. In the automotive industry hemp are used for the production of biofuels. A mixture of hemp oil and 15% of methanol is a substitute for diesel fuel in diesel engines (its burning produces 70% less soot than oil from crude oil).

Boatbuilding. In the heyday of high seas sailing, until the end of the 19th century, 70% of all ships rigging were made from hemp fibers, resistant to tearing and moisture.

Pulp and paper industry. The first paper, originated in China was made from hemp fibers. By the end of the 19th century, about 90% of the production of paper came from the hemp processing. During the industrial revolution the demand for paper has increased, which led to the acquisition of the paper from natural raw materials. The production of paper from hemp is 4 times more efficient than paper from wood. This is longer lasting and a better quality paper. Hemp straw contains 70% of cellulose. The annual increment of cellulose produced by hemp is 2.5 times greater than the growth of cellulose extracted from trees.

In the 20th century hemp fibers were the basis for the production of tissue paper, cigarette filters, filters for coffee makers, tea bags. Currently only 0.05% of the world's paper is produced from hemp. One hectare of hemp gives the same amount of paper pulp, which 4 ha of the forest. Hemp as an annual plants supply raw material every year, and mowing them do not harm the environment.

Chemical industry, resins, coatings, adhesives, polyurethane foams, composites. By using hemp non-toxic paints, varnishes and detergents can be produced.

1.6 The perspective of hemp cultivation

Hemp, thanks to specific biological properties, the requirements of cultivation and different lines of service, are the crops of major importance in the implementation of the sustainable development of agriculture. They produce an enormous amount of green biomass, which shadowing the soil during the growing season, and well developed root system decompose after harvesting the plants. Hemp root system improves soil structure through its proper airing and the accumulation of humus. Hemp are a good predecessor for other crops, they do not require the use of plant protection products, they are resistant to diseases and pests, and waste material made from hemp, at low cost is suited to processing by means of recycling. Leaves of hemp can be used for fodder purposes. Hemp plants by binding CO₂ contributes to reducing the greenhouse effect (1 ha of hemp involves approximately 2.5 t of CO₂), and when burning biomass less CO₂ and CO is emitted into the atmosphere than mining raw materials. Hemp can be grown on contaminated areas, while absorbing heavy metals such as cadmium, lead, zinc, and copper–hemp contribute to their rehabilitation. In 2012, Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan has implemented a project for the rehabilitation of degraded soils in areas of former coal mining by sowing of fibrous hemp.

The cultivation of hemp should interest the farmers from the Eastern Poland also due to low crop requirements. Climate in Poland makes our country (outside the mountain ranges) as the perfect place for the cultivation of hemp. In each region you can find the relevant sites under cultivation, these include also chernozem of Lublin

region. The only climate problem in the early stages of cultivation (from rises until the end of flowering) can be a shortage of water. An important part is the selection of suitable crop site - the best are areas which retain water in the soil in good sunlight. Due to the expanded root system in the cultivation of hemp a greater role is played by enough water in the soil, than the large amount of rainfall. Hemp can be grown on mineral soils and peat. The best are deep soils, rich in humus and lime, non-hardening, airy, but stopping well water. They can grow on medium soils when good fertilization and low level of weeds provided. For the cultivation of hemp are not suitable heavy soils, clay, easily hardening and impermeable, and also dry sandy-clay soils, not located in high culture. An important feature of hemp from the point of view of its crop is a good use of soil fertilization force and the absence of specific requirements according to previous crop. You can sow them after each plant. Good previous crop includes plants from the family of legumes (alfalfa, clover, peas, vetch, field pea) and roots. There are no contraindications for many years of growing hemp on a continuous system (no more than 3 years).

1.7 Summary

Agriculture in the territory of Eastern Poland for various reasons is becoming less profitable: the underdeveloped service sector for the benefit of agriculture and countryside, there is a very large farm dissection, the soils of weaker classes dominates, etc. In recent years, changes are made aimed at creating larger and more productive farms, which have to improve their financial opportunities. In the 21st century, hemp are experiencing a true Renaissance, showing their versatile and unlimited potential. In Europe and Poland after a time of crisis, there has been an increase in interest in the cultivation and processing of hemp. New company are formed, which started activities in the field of processing and creation of cultivation base. Currently throughout the European Union admitted to crops are 14 species of hemp, with a very low level of THC (less than 0.2%), with which it is not possible to obtain narcotic substances. In 2008 was sown more than 1400 ha of hemp, and the Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan signed the agreement with nearly 40 growers (among others

of the Lublin region) - seed plantations founded on the surface of 240 ha. With back to hemp cultivation is a chance for Polish agriculture, especially for areas where these crops were inscribed in the tradition, e.g. for the Lublin region. When cultivating these plants, farmers can improve their economic situation and they have an opportunity to fill a niche as a result of the fact that these crops are very limited in Europe, there will be no competition for agriculture of the European Union.

Bibliography

- [1] Allin S.: Building with hemp, Seed Press, 2012.
- [2] Bevan R., Woolley T.: Hemp Lime Construction: A Guide to Building with Hemp Lime Composites, Bracknell, 2010.
- [3] Bocsa I., Karus M.: Der Hanfanbau, C.F. Muller, Heidelberg, 1997.
- [4] Dempsey J.M.: Fiber crops. Hemp, University of Florida, Gainesville, 1975.
- [5] Fic S., Brzyski P., Jarosz-Hadam M.: Możliwości wykorzystania odpadów lnianych i konopnych do szerokiego zastosowania w budownictwie, [W]: S. Kondracki, K. Zarzecka, Współczesne dylematy polskiego rolnictwa Cz. II, Publishing House PSW JPIL, Biała Podlaska, 2015, p. 128–137.
- [6] Grabowska L.: Perspektywy uprawy konopi przemysłowych w Polsce, W: Rola infrastruktury i techniki w zrównoważonym rozwoju rolnictwa, IBMiER, Warszawa, 2005.
- [7] Grabowska L., Koziara W.: Wpływ temperatury i opadów na plonowanie konopi włóknistych odm. Białobrzeskie. Natural Fibres vol. XXXV, Poznań, 2001.
- [8] Grabowska L., Koziara W.: The effect of Nitrogen Dose, Swing Density and Time of Harvest on Development and Yields of Hemp Cultivar Białobrzeskie, Journal of Natural Fibres, vol. 2, no 4, Haworth Press, 2005.
- [9] Grabowska L., Kołodziej J., Burczyk H.: Zastosowanie energetyczne konopi włóknistych, Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 2007, p. 19–25.
- [10] Jaranowska B.: Konopie jednopienne, Publishing House PWRiL, Warszawa, 1962.
- [11] Jaranowska B.: Wpływ wzrastających dawek azotu i gęstości siewu na plony konopi jedno- i dwupięnnych, Pr. IPWŁ, Poznań, 1966, vol. 13, p. 21–37.
- [12] Ożarowski A., Roszkowski J.: Rośliny lecznicze i ich praktyczne zastosowanie, Instytut Wyd. Związków Zawodowych, 1987, p. 225–227.
- [13] Termagroep Regionale Ontwikkeling: Andere Gewassen in de veen koloniale akkerbouw – mogelijkheden voor bouwplanverruiming, Wageningen, 1982.
- [14] www.coboru.pl
- [15] www.stat.gov.pl

CHAPTER II

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE RESULTS OBTAINED ON THE BASIS OF THE COMPOSITE MADE OF HEMP AND BINDER IN THE FRAMEWORK OF THE PROJECT

2.1 Introduction

With the concept of sustainable development strongly related is construction industry, because it has a big impact on the environment:

- construction industry consumes over 40% of the world's energy production,
- from construction industry comes about 35% of the world's greenhouse gas emissions,
- at the construction industry falls 50% by weight of the processed materials.

Technological solutions and core principles for the protection of the environment on eco-buildings are: the maximum use for lighting the premises of daylight, the use of regional materials, use of recycled materials/reusability of the materials used, to minimize the impact on the environment, the use of natural resources – limiting the use of construction materials, which reduce the natural resources of the Earth, the reduction in energy consumption during the building erection and during its operation, minimizing heat loss, e.g. taking advantage of modern technologies and materials. The PN-EN 15643 standard provides technical, environmental, economic, social, and functional requirements of buildings. Based on that buildings for sustainable construction can be evaluated.

The essence of eco-building is harmony with the environment. The impact of the building on the environment should be minimal and it should be built from eco-friendly materials, which are easy to recycle, and where their assembly and production does not require large inputs of energy. Wastes produced during both the construction and operation of a building cannot contaminate water, soil or air. This is an important aspect, which devotes special attention.

Ecological construction is developing more and more on the Polish construction market. This is due, among others, to increasing public awareness about the impact on the environment. Ecological construction is as small as possible interference with the environment, and, most importantly, improve the conditions of our lives in relation to buildings and management of the area.

The basic objectives of the European Union on energy-climate package are: an increase of 20% share of energy from renewable sources, reducing greenhouse gas emissions, increase energy efficiency. The achievement of these objectives is to take place by 2020, however, a reduction of greenhouse gas emissions by up to 30% at the same time is expected. In Poland, about 40% of energy is consuming by buildings, of which about 70% on heating. Reduction of CO₂ emissions in the building can be obtained by using a number of innovative technologies. A house built of eco-friendly materials and operated by their use has an eco-friendly technology, is free of CO₂ emission and environmentally friendly. Ecological trend in construction assumes the use of materials characterized by high durability, low harmfulness to health, and often the ability to reuse and efficiency.

Testing method of the building is LCA, or Life Cycle Assessment – environmental life cycle assessment of the material. Analysis of the life cycle of a building material is about determining the maximum time of use and the elimination of non-qualifying products for reprocessing and with negative influence to the environment and human health. Action for energy conservation is the manufacture of long-life cycle materials, as well as the manufacture of products that do not have a negative effect on the micro- and macroclimate of the building interior, the environment and human health.

The most popular and most commonly used organic materials used in construction include:

- glass

Glass is non-flammable and resistant to corrosion. Its production does not require consuming large amounts of energy. Glass can be ennobled, and as a result is obtained e.g. foam glass used as thermal or acoustic insulation. This is the material that gives the possibility of infinite processing. It is used as thermal insulation of walls and ceilings, and after a suitable density gives you the opportunity to the resignation of waterproofing.

- wood

Adequate protection and treatment provides high durability and fire resistance. Small wood wastes are easy to dispose of. Wood also provides substantial opportunities for re-use. Large wooden beams can be used in its entirety or as a minor elements. Wood is a good acoustic insulator and is used to the finish of the façade, as well as to the skeleton structures. It also helps in maintaining optimal humidity in the premises. Wood provides natural thermoregulation, what makes that rooms are cool in the summer, and in winter are warm and cozy. Wood is the only material characterized by the fact that during the process of production CO₂ emission is less than the processing of the gas during the tree growth phase.

- brick

This is a safe material for health and absolutely natural. An important issue is that the bricks should be made using traditional methods of firing and from high quality raw material, which means clay with no ashes but with sawdust. The bricks are characterized by high resistance to atmospheric agents, low values of natural radioactivity and high thermal and acoustic insulation. The big advantage of bricks is also a possibility of re-use. The most expensive and laborious process is cleaning the bricks with mortar. Demolition brick is used mostly on façades or on internal accumulation walls.

- clay

There are many technological solutions, in which the primary material is clay. One is clay blocks, which after drying are used as filling the walls in wooden frame. To erection the walls you

can use also tamped clay or ready products, e.g. clay bricks. From clay mixed with cement tiles are performed. This material is also used for the production of plasters and clay paints. Brick production consumes relatively little power in comparison to other technologies, which significantly lowers the costs. Clay walls very well accumulate the heat. Walls made of clay are characterized by long durability, high thermal and acoustic insulation.

- straw

These materials are mainly used to walls erection. The walls are made of pressed straw blocks and cutting wood, which are connected with unburned clay. The walls are covered by special plaster, which includes among others, clay. Straw is completely healthy and natural material. Pressed straw is characterized by very good thermal insulation properties. Low cost of the raw material and the speed of the build are undoubtedly the big advantage of this technology. After demolition the straw is fully recyclable. The walls of the building made of straw and clay form a healthy and pleasant climate. Houses made of clay-straw-bales are durable, non-combustible, and construction and maintenance reduce to a minimum CO₂ emission and energy consumption. Buildings built of straw and clay are not only simple and fast in execution, but also relatively cheap in comparison to other technologies.

- thermal insulation made of papers and rags

For the production of insulating material, such as cellulose fibers, newsprint of high grade along with the addition of boron salts are used, in order to protect the wooden structure before the development of mold and mildew, as well as securing the same material before biodegradation. Thanks to that in house there is a favorable microclimate and there is no need for the vapor barrier film. To produce a warming made of cellulose fibers 80% of recycled material is used and the production process is not energy consuming. Cellulose insulation do not contain any harmful substances, and impregnation by boron compounds allows to obtain the fire-resistant and antifungal properties. Such insulation perfectly protects against airborne sounds and suppress noise. It is used as thermal insulation of attics, ceilings and floors.

- plastics as a raw materials

Ground packages glued together with a special binder and then pressed in form of plates are insulation made from recycled PET bottles. This material is used not only as a thermal insulation, but also as a lost formwork or drainage. Material properties are similar to the properties of expanded polystyrene, however, its strength is much higher.

Other examples of the use of plastics as recyclables include carpet made from old carpet recycling, paving on floor with granules from recycled tires, window profiles from recycled PVC, as well as gutters, grille lawns, downpipes formed from recycled materials.

- industrial hemp

Hemp straw in 25-30% is made up of fibers, in which is more than 70% of cellulose. As a result of mechanical processing of straw green schists fiber is obtained, which is used as a filler for cables, insulating material, for upholstery and mat. From shives the building boards are formed. Hemp oil is used to the production of paints and varnishes, because it has the quick-drying properties and leaves on the surface flexible, thin layer. Hemp can be used as insulating material for walls, floors, roofs, and ceilings. Insulating mats made from hemp provide not only good thermal insulation, but also acoustic insulation. They are also completely free of harmful substances. Also they have the properties that allow to adjust the moisture, so in the premises is a pleasant and healthy microclimate. Hemp are also used for the production of Hempcrete – bricks made of lime and hemp. These products are resistant to fire, also have waterproof properties. Hemp does not let the heat, but are permeable material, so do not block air access, does not rot, and are 100% decomposed. They are used as insulating material for roofs, floors and to walls erection.

- flax

Flax consists mainly of cellulose that is way flax products are characterized by resistance to many harmful factors, among others, to mold and rot. From flax shives boards and wood-based materials are made. Flax seeds are used for the production of paints and oils. However, flax is major used in the construction industry as thermal insulation mats or plates. They arise as a result of processing short flax fibers, connected with plastics or adhesives, e.g. potato starch.

Flax insulation has moisture regulating properties and ability to improve an interior microclimate. The main advantages are minimal energy contribution during the production process and saving of raw materials. Flax boards are sound-proof, flexible, and easy-to-treatment, do not change their form and have a very good thermal insulation properties and does not contain synthetic fibers and substances. Flax boards are used for insulation of floors, roofs, walls and light partition walls. They are suitable as insulation of wooden construction.

Initiative and the associations of popularizing ecological construction and certification systems are involved in evaluation of building materials, as well as the whole building for its sustainable properties.

The most famous building certification systems are:

- LEED – Leadership in Energy and Environmental Design – involves the point evaluation of the adaptation properties of the used materials and the whole building to the requirements of sustainable construction in many respects, e.g. transport, recycling, etc.,

- BREEAM – BRE Environmental Assessment Method – uses a variety of such criteria as environmental pollution, materials, transportation, quality of the exterior environment, water and energy consumption, an evaluation of the overall impact of construction industry on the environment is made,

- DGNB Certification System – based on an assessment against the criteria in the six sectors such as economic, ecological, technical, social, process and localization quality,

- Green Star – assesses the impact of buildings on the environment in 9 categories,

- CASBEE – Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency – involves the measurement of the relationship between the environmental quality of the object, e.g. thermal comfort and load of the environment, e.g. global warming, energy efficiency,

- GBP EU Green Buildings – includes the aspect of energy efficiency of buildings, and its goal is to reduce the production of CO₂ and energy consumption (a high level of energy efficiency: energy consumption 25% lower than it is determined by national standards).

Assessment systems can be described as an attempt to bring certain factors and management guidelines to get an adequate tool for the construction sector.

In accordance with the directive of the European Parliament of 19 May 2010, until the end of December 2020, all new buildings are to be buildings almost zero-energetic. In this connection, it is necessary to a gradual increase in requirements and progressive classification of buildings according to the amount of consumed energy. While maintaining the comfort and economic efficiency reduction of the heating cost of the building and increase its energy efficiency should be strived.

The need to minimize the constantly rising cost led to the creation of construction technology, which would reduce bills and maintenance costs of the building. Eco-friendly solutions have both advantages and disadvantages.

The advantages of energy-efficient buildings include:

- minimization of the negative impact on the environment – the use of renewable energy sources,
- a higher value of ecological construction on the market, and thus the profit upon the sale of the house,
- the comfort of being in the building provided by the proper location, relative to the world's directions,
- minimization or total liquidation of heat losses,
- very low costs of heating and building operation,
- reducing to a minimum the costs of home use, with proper heating and thermal insulation of house.

Disadvantages of energy-efficient buildings are:

- higher cost of erection of energy – efficient home than home made using traditional technology,
- the high price of additional energy-efficient installation,
- the high price of the individual building project,
- simple building block is not necessarily corresponding to the tastes of the investors, who prefers bays, oriels, terraces or decorative trims,
- high quality of materials results in an increase in their prices,
- precise measurements that generate additional costs for the employment of a dedicated team of professionals.

The concept of sustainability in the construction industry is still concentrated mainly on the use of renewable energy sources and obtaining the appropriate building's energy efficiency. Forget about the fact that they are built of materials of high energy, which production processes are extremely toxic for the environment. Delving into the topic of eco-building, a lot of alternatives to standard design and materials solutions can be seen, that are friendly to the environment, differentiated in use and affordable.

Testing composites made from hemp are part of a sustainable development policy in the field of construction industry. In order to reduce the associated greenhouse gas emissions and their impact on the climate, it is necessary to select building materials with the lowest level of greenhouse gas emissions. For this reason, in recent years, widely tested were natural fibers, which can be used as an alternative to carbon fibers, glass, wood or plastic, in a variety of composites applications for construction [1].

One of such materials are hemp, which were used as material filling composite, increasingly also used in building partitions. Hemp are increasingly used with lime binder in the construction of walls [2]. Hemp are a fast growing annual plant, cultivated using different methods. The stems of hemp known as hurds or shives were considered as a waste. However, it turned out, that they can be used for the production of ecological building material. Other plants to be used in the construction industry is the miscanthus, flax, cotton, jute and fast-growing trees such as willow. By mixing a binder based on lime with hemp shives a light form of concrete is created, which is used for the construction of eco-friendly and energy-efficient buildings. The proportions of hemp and lime can be modified, depending on the required properties of the product. When mixing them with a small amount of water, a sticky substance is obtained used for the insulation of walls, floors and roofs. A mixture of lime and hemp can be used as a construction material – is poured in the formworks or in the form of blocks and plates. The more widespread use are also roof panels or ceiling. After drying, the material creates a durable and tough composite that provides waterproof thermal insulation. A surface of the walls can have different finishes to suit your needs. On the construction of the walls usually wooden

skeleton is applied, which then shall be completed by blocks or the mass of the hemp composite. These constructions are subject to some changes depending on the required thickness of the wall, the type of external cladding, or the use of other materials.

Lime is widely used in construction, and is produced by heating calcium carbonate in a kiln at a temperature of around 900°C. Hemp-lime structures are used in France since 1990 [1,3], but they are not widely known in Poland.

Design and construction of hemp buildings have been studied in detail by Bevan and Woolley [3]. Their research has shown a number of benefits, including: extremely high integrity level achieved by the monolithic wall construction; the improvement of air quality due to the hygroscopic properties of walls; lower thermal power consumption of hemp-lime wall. Typically, hemp are used as insulation material in walls or layers of floors and roofs insulation.

Due to the good mechanical properties of fibers, recently in the scientific literature, increased interest in natural fibers for use in the construction industry was observed. Many researchers are engaged in particularly in study their thermal insulation properties. The most studied materials are: jute [4], cork [5], corn on the cob [6], hay [7], sugarcane [7], rock wool and wood wool [8], unbound cellulose [9], flax [10,11], straw bales [12] and hemp [3,10,11,13]. The basic components of the hemp fiber are: cellulose, hemicellulose, lignin and ordinary pectin [14].

Currently registered varieties of fibrous hemp plants in Poland and the countries of the European Union are: Białobrzeskie, Benico, Silesia, Tygra bred at the Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan, which is engaged in comprehensive research on acquisition and processing of natural raw materials and medicinal plants. These varieties have a high economic value. They do not constitute a narcotic threat in accordance with the requirements of the law about the prevention of drug addiction and contain less than 0.2% of THC.

The study described in this report demonstrate the ability to use hemp in the construction of the hemp-lime walls.

2.2 Experimental procedure

Recipes of mixtures and process of samples production

For analysis six recipes of mixtures has been designed. In the laboratory we performed a mixtures consisting of: lime, hemp, perlite, Portland cement, water, metakaolinite, ethylene copolymer – vinyl acetate as plastifying-strengthening admixture in the amount of 1% in relation to the weight of the binder.

Shortened names of the composites used in the research and proportions of their dosage are shown in Tab. 2.1. The most relevant parameters are in this case relationships: hemp for binder, namely cement + lime + metakaolinite, abbreviated K/(C + Wp + M) and perlite to binder, namely cement + lime + metakaolinite P/(C + Wp + M), whose values are shown in Tab. 2.1.

Industrial hemp come from the Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants in Poznan. Shives are characterized by very low pile weight (100-104 kg/m³), due to their highly porous structure. In addition, the fiber has a high ability to absorb water: up to 410% of its mass, after 48 hours of immersion.

In the work of Stikute et al. [15] granulometry analysis of Białobrzeskie shives variety has been carried out in three dimensions (length, width, thickness) by using caliper with an accuracy of 0.02 mm. Studies show that hemp thickness is 1.8-7 mm (max. 1.8-3.1 mm), length 15-56 mm (max. 15-25 mm) and the width of 2.8-8 mm (max. 4.1 mm).

Table 2.1. Recipes of hemp-lime composites

Material	Symbol, unit	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Lime	Wp [kg/m ³]	106.38	139.21	147.37	153.17	176.77	189.70
Hemp shives	K [kg/m ³]	85.11	92.81	84.21	87.53	75.76	54.20
Perlite	P [kg/m ³]	42.55	46.40	63.16	65.64	101.01	135.50
Water	W [l/m ³]	212.98	371.22	421.06	437.64	505.06	542.00
Cement	C [kg/m ³]	21.28	32.48	48.42	50.33	58.08	62.33
Metakaolinite	M [kg/m ³]	10.64	13.92	14.74	15.32	17.68	18.97
Ethylene copolymer	E _{vc} [kg/m ³]	-	-	-	2.19	-	-
W/(C + Wp + M) *	[%]	1.54	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

K/(C + W _p + M) **	[%]	60	50	40	40	30	20
P/(C + W _p + M) ***	[%]	30	25	30	30	40	50

* $W/(C + W_p + M)$ = Water / (Cement + Lime + Metakaolinite) by weight

** $K/(C + W_p + M)$ = Hemp shives / (Cement+Lime + Metakaolinite) by weight

*** $P/(C + W_p + M)$ = Perlite / (Cement + Lime + Metakaolinite) by weight

Hemp fibers applied in the own research differ in length from those described above at work [15], which was 15-150 mm. These parameters depend on the variety of hemp, agricultural technology, soil and climatic conditions.

In lime composites sand has been replaced by the expanded perlite EP180 of class II of the granulation 0-4 mm. Contents of perlite ranged from 25 to 50% in relation to the quantity of binder (C + W_p + M). Compressive strength of perlite is 0.14-0.40 MPa, pile weight 60-80 kg/m³ and thermal conductivity 0.042 W/mK. Perlite causes significant changes in the physical parameters and rheological characteristics of products. Increasing volume content of perlite in exchange for sand reduces strength parameters. In return, thermal insulation properties are improved, also fire resistance, lightness, resistance for capillarity, the degree of noise reduction.

As a binder, a mixture of hydrated lime, Portland cement and metakaolinite was used.

Chemically the hydrated lime is hydrated calcium oxide (quicklime). Chemical formula of hydrated lime is Ca(OH)₂. Colloquially this type of lime is called a hydrate. The final product is formed by the “extinguish” of hydrated lime by water and then subjecting it to a process of separation. This allows to obtain a high quality product, meeting the requirements of PN-EN 459-1:2003 standard. Hydrated lime is characterized by pile weight of 390-410 kg/m³. The chemical composition of lime was as follows: CaO – 95.5%, MgO – 0.5%, CO₂ – 2.1%, SO₃ – 0.1%, the free water – 1.5%.

Another component of the binder was a Portland cement CEM I 42.5R with high early strength. It has characteristics such as high heat of hydration, high early strength and rapid increase in strength. This makes it suitable not only for the production of prefabricates, but also preparing HSC, aerated concrete, and more. Portland cement CEM I 42.5R had the following technical parameters:

surface specific area – 3985 cm²/g, binding beginning – 190 min, end of the binding of 250 min, compressive strength after 2 days – 30.4 MPa, flexural strength after 2 days – 5.41 MPa, water demand – 28%, loss on ignition – 3.44% by weight. Study of Portland cement CEM I 42.5R were conducted according to Polish standards PN-EN 197-1:2002 and PN-B-19707:2003.

Metakaolinite was added in the amount of 0.1% of lime weight, with chemical composition: Al₂O₃ – 40-42%, SiO₂ – 51-53%, K₂O and Na₂O – 1.3-1.5%, Fe, Ti, Mg – 1.3-1.5%. Metakaolinite is a natural, fine-grained concrete filling addition and to concrete construction products. It constitutes a component which improves workability, thixotropic, and stability of consistency of the proposed mixture. The main component of the mixture is metakaolinite – highly reactive pozzolanic additive, which is obtained as a result of calcination of kaolin. Metakaolinite contains active forms of aluminum and silicon oxide, which react with free calcium hydroxide Ca(OH)₂ and the products in the form of hydrated clay. From this reaction silicate and calcium aluminosilicate are created, in terms of composition and structure they are similar to Portland cement hydration products. Metakaolinite contributes to obtain high early strength and dense matrix, and provides special reactivity. Water demand also increases without losing the endurance parameters. The mortar with the addition is more workable and formable.

Because the primary limiting factor in the application of the dispersion powders and other chemical additives are high costs of these materials, as a plastifying-strengthening admixture ethylene copolymer – vinyl acetate was used in one type of composites. Copolymer addition improves a lot of utility properties of concretes and mortars, it improves workability of mortar, makes it easy in layering and processing, it increases water retention in the mortar and reduces the speed of its evaporation, it improves resistance to abrasion, greatly improves adhesion to all substrates, it improves the flexibility of the mortar. For testing, a special kind of dispersion powder was used containing hydrophobic additive, which allowed for the production of composites with a greater resistance to water and frost. Addition of the polymer forms preferentially many properties of polymer-cement mortars, it creates a thin layers covering the

hydrating cement grains, which causing a reduction in the rate of cement hydration. This applies in particular to the formation of the crystal hydration products, portlandite and ettringite. Despite the reduction in the rate of cement hydration the strength of mortars with the addition of a polymer is higher at every stage of maturation than in the case of mortars not modified by polymer.

By experiment optimal indicator was established $W/(C + W_p + M)$ at the level of 2.0. This ratio in the first K1 mixture was adopted at 1.54, however, due to the poor workability this indicator was increased to 2.0 and 2.5. By level $W/(C + W_p + M) = 2.5$ components in forms were unsorted, therefore, to further study the indicator was assumed to be equal to 2.0.

The mixing method and the order of individual components dosage is not strictly defined in the literature. In publications different ways of preparing the mixture can be found. It is possible to initial soaking of hemp shives, and then adding them to the mixed binder or vice versa, adding dry shives to liquid, mixed binder.



Figure 2.1. Test samples for thermal conductivity coefficient measurements

In these studies, samples preparation were consisted of mixing a binding material with water and then gradually adding liquid binder to initially blended filler ingredients during the continuous mixing. Mixing was continued until the moment when the hemp shives and other fillers have been surrounded with paste, and the mixture obtained a homogenous consistency. Then proceeded to the formation of samples. Due to the presence and the shape of the

light filler, thickening the mixture under the influence of gravity is impossible. Samples were thickened manually by whipping using wooden stake with a diameter of approximately 30 mm. After positioning the mixture in forms, in addition it was thickened on the vibrating table. Rectangular and cubic samples in a single layer, while the cylindrical samples in two layers. For a period of 3 days the samples grew in the forms protected from water loss.



Figure 2.2. Test samples for flexural strength measurements

Composite after demolding was not hard, but plastic. The reason of this is the overwhelming presence of an air binder and high water content in the composite. Samples were matured in dry-air conditions, at a temperature of $20 \pm 2^\circ\text{C}$ and a relative humidity of $60 \pm 5\%$ for 25 days, until the examinations (Fig. 2.3).



Figure 2.3. Test samples for water absorption and compressive strength measurements

2.3 Composites properties

Bulk density and water absorption

Composite bulk density test was performed according to standard EN 12390-7:2001 *Testing hardened concrete – Part 7: Density of hardened concrete*. To test 10 cubic samples from each series were used, with dimensions of 150 x 150 x 150 mm. Samples with a known volume were dried to constant weight and weighed on laboratory scale, then volumetric density was calculated, often also called as the bulk density. It is expressed by the ratio of mass to its volume. Bulk density of composite was specified by using a hydrostatic scale.

Steps performed:

- weighing of samples using analytical scale, record their weight in the dry state with an accuracy of 0.1% by mass of the sample $m_d(\text{kg})$,
- measuring the samples surfaces with an accuracy of 0.5% of its dimensions-3 measurements on each surface,
- calculation of the volume of each sample $V(\text{m}^3)$,
- calculating bulk density according to the formula:

$$\rho_b = \frac{m_d}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

Random placement of hemp shives and manual way of thickening by force strictly an unspecified cause producing of macropores in the material (free spaces between shives) spaced irregularly. A method of mixture placing and compaction force has a clear impact on the bulk density of the hardened composite.

The water absorption measurements was carried out according to standard PN-88/B-06250 *Plain Concrete*, on ten cubic samples with dimensions of 150 x 150 x 150 mm from each series. The test consists controlling weight of samples soaked in water, until a state of total soaking. The samples were completely immersed in water. Due to the low bulk density of composites and water displacement, it was necessary to place the load on the samples.

The total period of soaking samples with water continued, depending on the recipe, for about 7 days. It is worth noting that

the high porosity and absorptivity of used fillers contributed to an increase in water absorption by up to 60% in the first 5 seconds after immersion samples in water.

The coefficient of thermal conductivity

In order to determine the coefficient of thermal conductivity the plate machine was used. For this purpose 10 plates of each composite has been prepared (Fig. 2.1). The dimensions of each plate were as follows: 300 x 300 x 50 mm. Investigations were carried out on samples of 3% moisture content, which has been obtained through storage of material in the room of relative humidity equal to 70%, for 4 weeks.

Steps performed:

- setting the plate machine in accordance with the instruction,
- placing the sample between the plates of machine,
- setting the sample centrally, relative to the plates and the walls of the machine,
- performing plates calibration, note thickness of the sample read by the machine,
- launch of a proper test of the coefficient of thermal conductivity.

The study was completed, if the value of the coefficient of thermal conductivity λ (W/mK) has stabilized and has not changed with an accuracy of 0.001. The average value of the coefficient of thermal conductivity was calculated from n samples in accordance with the formula:

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{ (W/mK)}.$$

The standard deviation and coefficient of results variation was calculated according to the formulas. It should not exceed 10%.

$$s_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda)^2}{n-1}} \text{ (W/mK)}$$

$$\nu_{\lambda} = \frac{s_{\lambda}}{\lambda} 100 \text{ (\%)}$$

When determining the composite coefficient of thermal conductivity, two temperatures were used: 20°C on the hot plate and 0°C on the cooling plate. The average temperature was 10°C. The principle of operation is based on passing through the sample specific heat flux and measuring the temperatures resulting from the steady heat flow on the surfaces of bringing and heat dissipation. The machine worked with the computer and the WinTherm32v3 software, which records the results of the measurements.

Compressive strength

Compressive strength of composites were performed according to standard PN-EN 12390-3 *Testing hardened concrete – Part 3: Compressive Strength of Test Specimens*. To test 10 cubic samples of dimensions 100 x 100 x 100 mm and 150 x 150 x 150 mm for each recipe were used (Fig. 2.3). Determination of compressive strength of samples were taken after reaching the average compressive strength of the sample after 28 days. The study was conducted in Controls hydraulic press for load range 0-100 kN, taking the lowest permissible increase in axial compressive strength 50 N/s.

Steps performed:

- measuring the loaded surfaces (top and bottom loaded surface) with an accuracy of 0.5% of its dimensions – 3 measurements on each surface,
- calculation of average values of 6 measurements in each direction on loaded walls in accordance with the formulas of the accuracy of the final result to 0.5%:

$$x_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 x_i \text{ (mm)} , y_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 y_i \text{ (mm)}$$

- calculation of the average value of the area of loaded surface with rounding a result to 1% according to the following formula:

$$A_c = x_m y_m \text{ (mm}^2\text{)}$$

- purification of samples from impurities (dust, particles of composite) and moisture excess,

- cleaning the press plates with impurities,
- placing the sample on the bottom plate of the press so that the load was applied in the formation surface of the sample,
- centering sample so that the load was applied axially,
- the inclusion of a hydraulic press and start of the test.

The compression head speed during the test was 5mm/min. Samples were charged at a constant speed of 50N/s. Study was carried out until destruction of the samples in the machine (Fig. 2.4). From the obtained value of destructive force $F(N)$ and the cross section of the sample $A_c(mm^2)$ compressive strength $f_c(N/mm^2 = MPa)$ according to the following formula was calculated:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ (MPa)}.$$

The average value of compressive strength from n samples has been calculated in accordance with the formula:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \text{ (MPa)}.$$

(a)



(b)



Figure 2.4. Compressive strength testing of hemp-lime composites:
a) K1 composite, b) K6 composite

The standard deviation and coefficient of results variation was calculated according to the formulas.

$$s_{fc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \text{ (MPa)}$$

$$\nu_{fc} = \frac{s_{fc}}{f_{cm}} 100 \text{ (\%)}$$

Flexural strength

Flexural strength test of composites was performed according to standard PN-EN 12390-5 *Testing hardened concrete – Part 3: Flexural Strength of Test Specimens*. To test 10 rectangular samples of dimensions 100 × 100 × 500 for each recipe were used (Fig. 2.2). Determination of the flexural strength of the samples was taken after 28 days of maturation. The study was carried out on the Controls strength machine (Fig. 2.5). Samples were loaded by force located centrally (3-point bending). Spacing of supports was 300 mm. Prior to the test and during the test actions and measuring steps were performed, analogous to compressive strength test.



Figure 2.5. Flexural strength testing

The study has been carried out until the samples destruction in the strength machine. From the obtained value of destructive force and the transverse dimensions of the sample, flexural strength according to the following formula was calculated:

$$f_{cf} = \frac{3Fl}{2d_1 d_2^2} \text{ (MPa)}$$

where:

f_{cf} – flexural strength (MPa),

F – the maximum force during the sample destruction (N),

l – spacing of supports (mm),

d_1, d_2 – the transverse dimensions of the sample (mm).

The average value of flexural strength from n samples has been calculated in accordance with the formula:

$$f_{cfm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cfi} \text{ (MPa)}.$$

The standard deviation s_u and coefficient of results variation ν_{fcf} was calculated according with the formula.

$$s_{fcf} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cfi} - f_{cfm})^2}{n-1}} \text{ (MPa)}$$

$$\nu_{fcf} = \frac{s_{fcf}}{f_{cfm}} 100 \text{ (\%)}$$

The dynamic modulus of elasticity

The test of dynamic modulus of elasticity was conducted on cylinders of 150 mm diameter and 300 mm height while keeping the recommendation that, in the case of a cylindrical samples length L should be at least two times greater than the diameter d of the samples.



Figure 2.6. Testing of dynamic modulus of elasticity

Determination of elasticity module of the samples was carried out on the basis of a dynamic method using resonant frequency measurements in frequency meter C311-R (Fig. 2.6). The study was conducted by the output voltage of about 1 V on the basis of the recommendations of the ASTM C666 and ASTM C215 standards. In the test the accelerometer has been installed and attached to the system of data collection. As the source of the pulse a small steel ball with a diameter of 12 mm was used. Tapping was in the upper surface of the cylindrical sample. The accelerometer measures the passage of ultrasound wave through the sample and the data were obtained using a computer program. In software the amplitude charts and frequency of ultrasonic waves were received. From the graph the frequency amplitude peak was read, which indicates the value of resonance frequency of composite.

General considerations on ultrasonic wave propagation in isotropic solid bodies, it appears that there is a link between their speed and density, and elastic constants. Hence the dynamic modulus of the individual samples was calculated from the formula:

$$E_{DM} = 4L^2n^2\rho \text{ (GPa)}$$

where: L – sample length, n – frequency, ρ – sample bulk density (kg/m^3).

2.4 Results and discussion

Physical properties

Physical properties of hemp-lime composites are presented in Fig. 2.7.

The results show that the amount of hemp fibers influence significantly on increase of water absorption and decrease the density of the composite (Fig. 2.7). The decrease in density ranges from 7 to 42.4% and accordingly increases with the amount of added hemp fibers from 30 to 60%, in comparison to K6 samples with the lowest content of hemp fibers equal to 20%. Studies show that produced composites have a density of 265.8 to 461.2 kg/m^3 . Fiber addition in the amount of 60% caused water absorption growth by 35%. Water absorption of the samples is very high and varies from 98.5 to 150.5%.

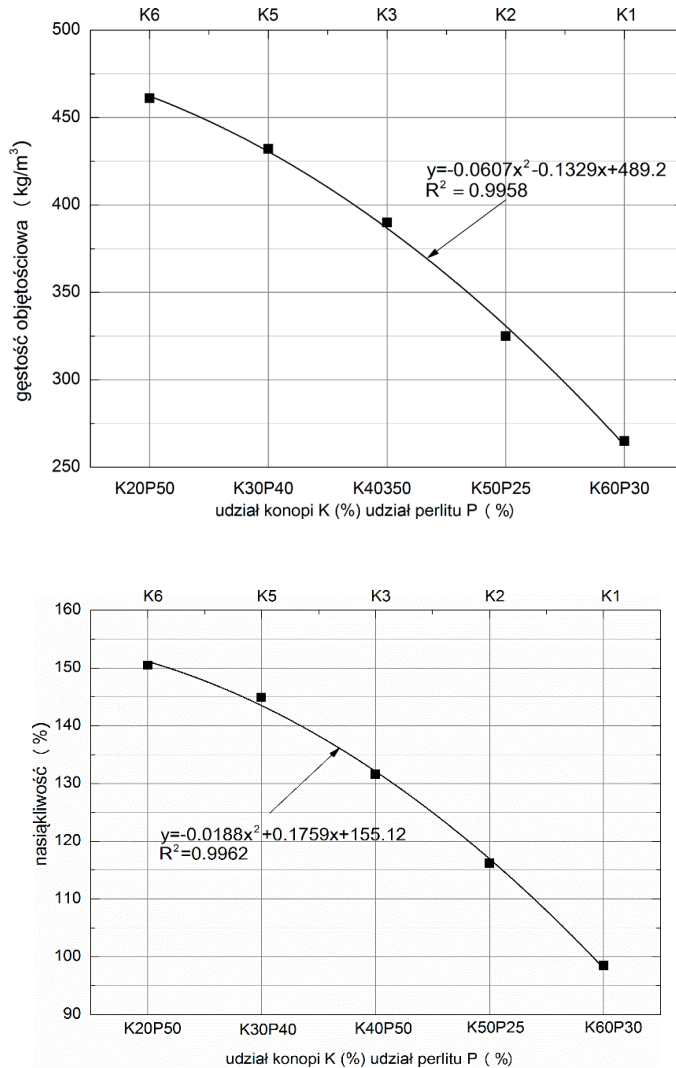


Figure 2.7. Bulk density (gęstość objętościowa) and water absorption (nasiąkliwość) of tested composites

It was found that increasing water absorption and decreasing density of composites is followed by a gradual decrease in thermal conductivity than 0.111 to 0.094 W/mK (Fig. 2.8). In order to meet the technical conditions [16], to be met by a wall of residential buildings regards on heat transfer coefficient $U = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$, wall made of K1 composite with the largest hemp fiber content (60%) and the lowest coefficient of thermal conductivity λ should

has a thickness of 0.37 m. It was found that the same single-layer wall in energy-efficient building should have the thickness of 0.47 m, and in the passive building respectively 0.63 m. In the case of the other composites (K3-K6) wall thickness should properly be 0.44 m, 0.55 m and 0.73 m.

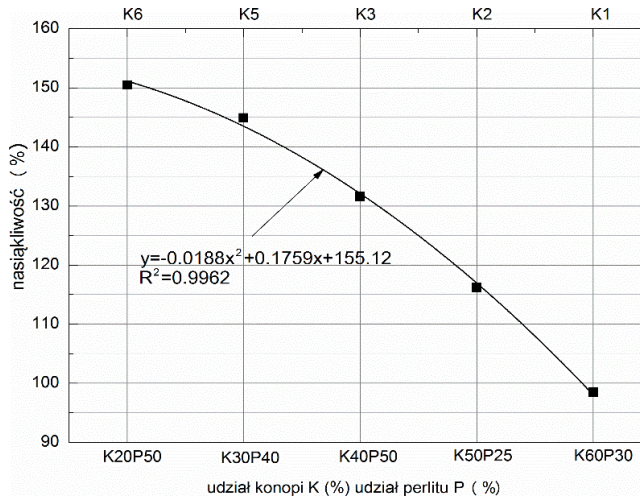


Figure 2.8. The coefficient of thermal conductivity (przewodność cieplna) of composites

The tests described in work [17] showed that, regardless of the composition of the material, the results indicate that the final product have a low bulk density ($300 < \rho < 600 \text{ kg/m}^3$) and high porosity of more than 65%.

It was also showed that the thermal conductivity of the ambient conditions at 23°C and by 50% relative humidity ranged from 0.07 to 0.20 W/mK [18], and then from 0.069 to 0.115 W/mK [19].

Due to the low density and high porosity of hemp shives, hemp and starch, a building material is forming with the characteristics that differ from those of a conventional concrete or limestone composite without natural fibers. The material with a lower density and a lower thermal conductivity has been obtained. According to a study carried out by Li, Gacoin and Mai [20], the thermal conductivity of hemp composites is ranged from 0.067 to 0.085 W/mK. This value decreases considerably, depending on the proportion of hemp shives.

The results related to density and thermal conductivity obtained in own research are comparable with the results of other researchers. However, the results of water absorption tests are definitely higher than those obtained in the study [20] and range from 6.30 to 25.81%, with 40% of the hemp shives content.

Strength properties

Strength properties of the six hemp-lime composites are shown in Fig. 2.9 and Fig. 2.10. Mechanical parameters depend primarily on individual composition of mixtures.

It has been observed that the highest indicators $K/(C + Wp + M)$ and $P/(C + Wp + M)$ were used, the compressive and flexural strength proportionally decreased. The smaller content of hydrated lime and cement, the strength parameters were lower, and therefore we can say that the adverse effects of hemp fiber additive on the strength of composites was obtained. Compressive strength is 6.5 times greater, flexural strength nearly 7 times greater for composite (K6) for the smallest indicators $K/(C + Wp + M)$ and $P/(C + Wp + M)$ in relation to the K1 composite. It should be noted that the chemical reinforcement admixture, which means ethylene copolymer – vinyl acetate, used in K4 composite caused the double increase in strength parameters.

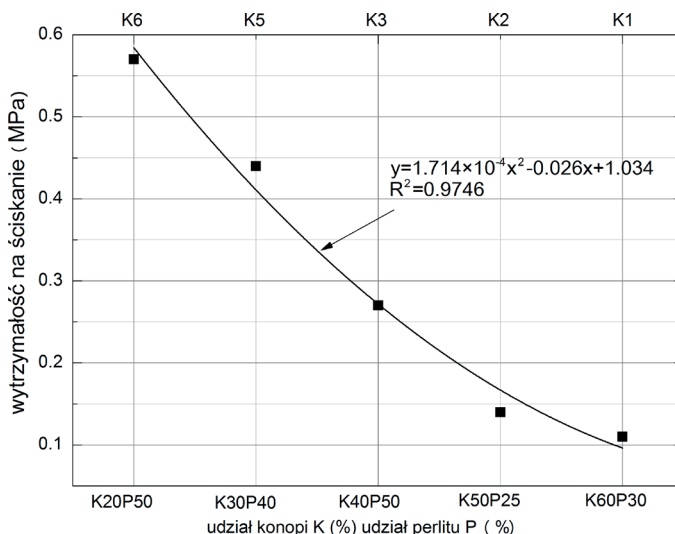


Figure 2.9. Average compressive strength (wytrzymałość na ściskanie) after 28 days

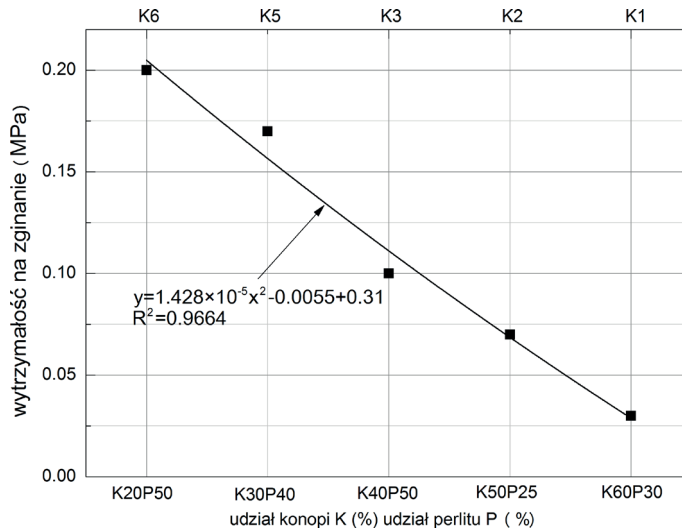


Figure 2.10. Average flexural strength (wytrzymałość na zginanie) after 28 days

Compressive strength of composites manufactured from hemp shives and starch [20] in range from 0.8 to 1.5 MPa is dependent on the composition and density of the concrete mix. Flexural strength obtained in the tests was ranged from 0.04 to 0.10 MPa. However, composites manufactured from hemp shives (40% of volume), hydrated lime (24%), Portland cement (0; 2.5; 5%), zeolite (0; 2.5; 5%), MgO – cement (0.29%), water (31%), obtained compressive strength ranging from 0.23-1.89 MPa. The highest compressive strength was found in the case where the amount of MgO – cement was 29%, without the use of Portland cement, hydrated lime and zeolite [19].

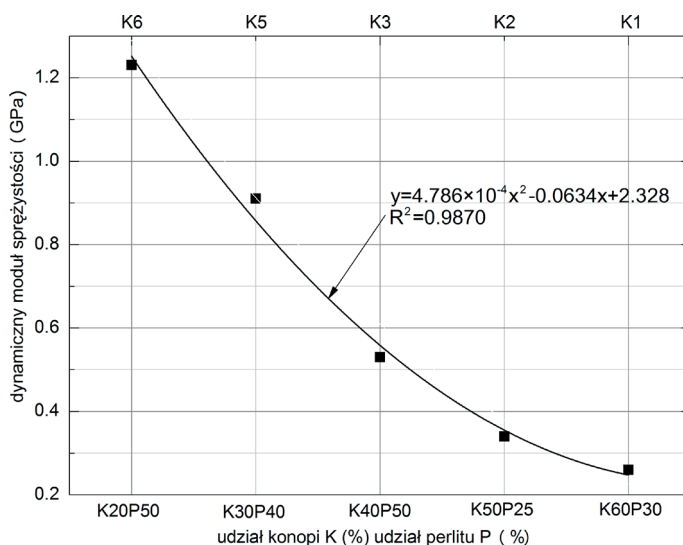


Figure 2.11. Average dynamic modulus of elasticity (dynamiczny moduł sprężystości) after 28 days

Dynamic modulus of elasticity E_{DM} is one of the most important property, which evaluates the composite material characteristics [17]. On the basis of the obtained results (Fig. 2.11) the adverse effects of the natural fibers additive on dynamic modulus was noticed.

With the increase of fibers content from 20 to 60% the dynamic modulus gradually falls and is 5 times smaller than in the case of a K1 composite. Almost twice increase in the modulus have been reported in case of application of ethylene copolymer - vinyl acetate in K4 composite.

Gomes et al. [21] conducted research on several types of mortars, consisting mainly of clay and other components, such as: sand, hydrated lime, natural hydraulic lime, Portland cement, Roman cement and natural shives. Mixes also contain 0%, 5%, 10% or 15% additive of the binder and 0% or 5% of hemp shives. Four types of binder were used: hydrated lime, natural hydraulic lime, Portland cement CEM II/BL 32.5N and Roman cement. The following results were obtained: dynamic modulus from 0.214 GPa (10 or 15% of Portland cement, 5% of shives) to 1.239 GPa (10% of Roman cement, 5% of shives), flexural strength from 0.06 to 0.25 MPa (10% of Roman cement, 5% of shives), compressive

strength from 0.11 to 0.58 MPa. The highest strength parameters were obtained by elimination of lime from mortar and with cement content, especially with 10% of Roman cement and 5% of shives [17].

A similar relationship was confirmed in the studies presented at work, namely with an increased amount of Portland cement, strength parameters of hemp-lime composite also increased.

Tests performed on plasters based on zeolite, a lightweight aggregate, Portland cement, blast furnace slag and hydrated lime described in [22] have shown that ethylene copolymer – vinyl acetate (VA) is an important addition that affects the mechanical properties of restoration plasters. Mortars of high polymer content (0.9% by weight) were characterized by higher strength parameters, the highest resistance to frost and resistance to crystallization of salts soluble in water.

A similar accuracy also was noted in the research presented in the report. Ethylene copolymer – vinyl acetate used in K4 composite caused the double increase in strength parameters.

2.5 Summary

The proposed formulas of composite made of hemp varieties, which grown in Poland and on the base of the lime binder exhibit physical properties similar to modern insulation materials or energy-efficient materials and can be used in conjunction with load-bearing walls of construction framework. Other important aspects of the developed composites are lower production costs in comparison to traditional building materials.

The properties of the composites depend to a large extent on their composition and compaction during manufacture. Thermal characteristics of hemp-lime composites showed a potentially good properties, which allow to their use in many applications in the construction sector. However, the addition of hemp lead to relatively low compressive strength and flexural strength, and dynamic elastic modulus in comparison with traditional building materials. Dynamic, mechanical properties of fiber in reinforced composites depend on various factors, such as the

load on the fibers and their orientation in composite. Ethylene copolymer – vinyl acetate addition as plastifying-strengthening admixture caused a significant increase in strength parameters of K4 composites and improved their workability. To the growth of these parameters also contributed significantly higher content of lime (about 3 kg/m³) and cement (0.70 kg/m³) in relation to the K3 composite. However, the decisive influence on improving strength parameters has the use of copolymer. It was found the legitimacy of the use of this type of additives in the production of hemp composites.

Future research could be focused on the use of additives, resulting in increased mechanical strength of hemp composites, in order to eliminate the wooden skeleton as a load-bearing structure.

Bibliography

- [1] Asprone D., Durante M., Prota A., Manfredi G.: Potential of structural pozzolanic matrix – hemp fiber grid composites, *Construction and Building Materials* 25, 2011, p. 2867–2874.
- [2] Ip K., Miller A.: Life cycle greenhouse gas emissions of hemp–lime wall constructions in the UK, *Resources, Conservation and Recycling* 69, 2012, p. 1–9.
- [3] Bevan R., Woolley T.: Hemp lime construction – a guide to building with hemp lime composites, Bracknell, UK: IHS BRE 2008.
- [4] Singh B., Gupta M., Tarannum H.: Jute sandwich composite panels for building applications, *Journal Biobased Materials Bioenergy* 4:4, 2010, p. 397–407.
- [5] Silva S.P., Sabino M.A., Fernandes E.M., Correlo V.M., Boesel L.F., Reis R.L.: Cork: properties, capabilities and applications, *International Materials Reviews* 50:6, 2005, p. 345–65.
- [6] Paivaa A., Pereira S., Sá A., Cruz D., Varum H., Pinto J.: A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards, *Energy and Buildings* 45, 2012, p. 274–9.
- [7] Kodah Z.H., Jarrah M.A., Shanshal N.S.: Thermal characterization of foam-cane (Quseab) as an insulant material, *Energy Conversion and Management* 40:4, 1999, p. 349–67.
- [8] Ren Q., Li J.Z., Lu Z.Y.: Studies on the wood fiber-rock wool composites, *Beijing Linye Daxue Xuebao/Journal of Beijing Forestry University* 29:2, 2007, p. 161–4.

-
- [9] Nicolajsen A.: Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material, *Building and Environment* 40:7, 2005, p. 907–14.
- [10] Dalmay P., Smith A., Chotard T., Sahay-Turner P., Gloaguen V., Krausz P.: Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum, *Journal of Materials Science and Technology* 45:3, 2010, p. 793–803.
- [11] Kymäläinen H.R., Sjöberg A.M.: Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, *Building and Environment* 43:7, 2008, p. 1261–9.
- [12] Ashour T., Georg H., Wu W.: Performance of straw bale wall: a case of study, *Energy and Buildings* 43:8, 2011, p. 1960–7.
- [13] Arnaud L., Gourlay E.: Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concrete, *Construction and Building Materials* 28:1, 2012, p. 50–6.
- [14] Summerscales J., Dissanayake N.P.J., Virk A.S., Hall W.: A review of bast fibres and their composites. Part 1 – Fibres as reinforcements, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 41, 2010, p. 1329–1335.
- [15] Stikute A., Kukle S., Shakhmenko G.: *Ecological Materials for Frame Housing* 6, 2011, p. 43–48.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z późniejszymi zmianami.
- [17] Reddy M.I., Srinivasa Reddy V.: Dynamic Mechanical Analysis of Hemp Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 3:9, 2014, p. 410–415.
- [18] Collet F.: *Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de Génie Civil à faibles impacts environnementaux*. Ph.D. thesis. INSA de Rennes 2004 [in French].
- [19] Stevulovaa N., Kidalovaa L., Cigasovaa J., Junaka J., Sicakovaa A., Terpakovaa E.: Lightweight Composites Containing Hemp Hurds, *Procedia Engineering* 65, 2013, p. 69–74.
- [20] Li A., Gacoin A., Mai T., H.: Performance of hemp-starch concrete composite, *Advanced Materials Research* 724-725, 2013, p. 1531–1534.
- [21] Gomes M.I., Diaz Gonçalves T., Faria P.: Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers, *Proceeding of the 1st International Conference on Rammed Earth Conservatio*, Mileto C., Vegas F. and Cristini V. Valencia, Spain, 2012, p. 21–23.
- [22] Barnat-Hunek D., Klimek B., Franus W.: The influence of zeolite additive on the physical and mechanical properties of renovation plasters, *Izolacje* 9, 2014, p. 58–64.

the number of characters with spaces: 49 098

CHAPTER III

TECHNOLOGICAL GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF CLEAN AND ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS WITH COMPOSITE FILLING TIMBER FRAME

3.1 Execution of the foundations

When designing the foundations, knowledge is required about the ground conditions on the site intended for the construction, allowing the draw up of the geotechnical documentation containing among others: geotechnical parameters of soil, geotechnical sections of land with soil layers, type of soil and the information about the level of ground water. The foundation should be built on the load-bearing ground. You cannot perform the foundations on organic soils and banks, because under load they significantly deform, which may cause the subsidence of foundations and the whole building. The wrong kind of soil for the construction are also cohesive, incompressible soils, impermeable and plasticizing under the action of water-clay, loam, loamy sands.

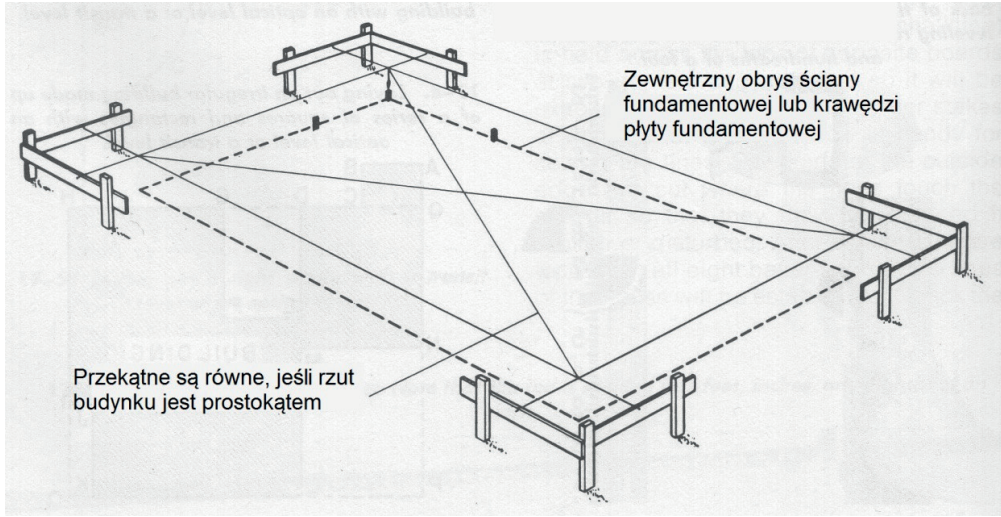


Figure 3.1. Determination of edge of foundations using directional footings [1]

Legend:

Zewnętrzny obrys ściany fundamentowej lub krawędzi płyty fundamentowej – External contour of the foundation wall or foundation slab

Przekątne są równe, jeśli rzut budynku jest prostokątem – Diagonals are equal, if the plane of the building is a rectangle

The foundations of buildings based on hemp-lime composite and timber frame technology usual are carried out by traditional technologies. Depending on the type of project or land in the place of the foundation may be the strip footing or concrete slabs. However, in view of the small weight of the building with structure made of wooden skeleton, filled with a light hemp-lime mixture, sections of foundation elements may be smaller than e.g. in the buildings made in traditional technology with a masonry walls. This involves less effort of earthworks and less consumption of concrete in the general statement of construction materials.

Construction should start from the foundation edge or axis demarcation. This step should be executed by surveyor with the privileges. The most accurate is method called directional footings (wire) presented in Fig. 3.1. Intersection of cords placed on directional footings create corner of strip footing. Using a suspended string with a light load, this point shall be transferred to the ground.

3.2 Slab foundation

Simple and often used solution is the slab foundation (Fig. 3.2). After the excavation of desired depth, the ground should be thickened on the entire surface, then arrange a layer of good draining aggregate, e.g. gravel. Along the construction walls strengthening should be made, i.e. increase the thickness of the slab in the form of ribs and make longitudinal reinforcement.

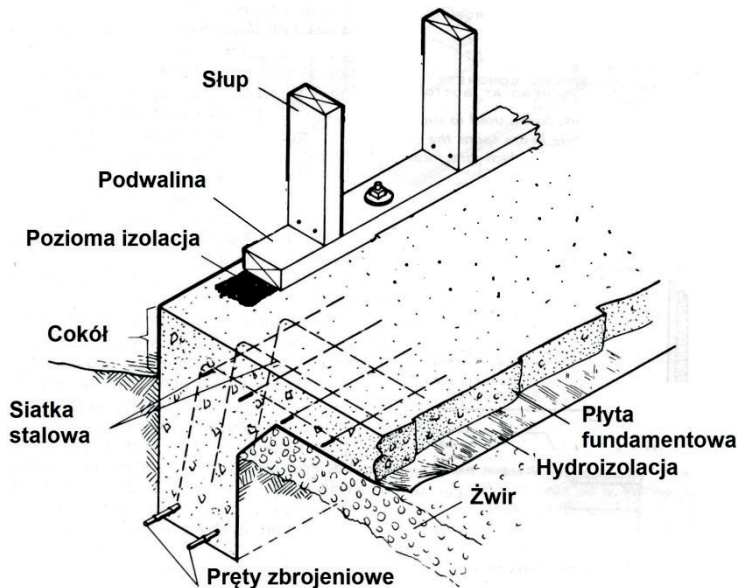


Figure 3.2. Wooden wall structure on slab foundation [1]

Legend:

słup – column; podwalina – ground beam; pozioma izolacja – horizontal insulation; cokół – plinth; siatka stalowa – steel mesh; pręty zbrojeniowe – reinforcing bars; żwir – gravel; hydroizolacja – waterproofing; płyta fundamentowa – slab foundation

The execution of the slab foundation eliminates the need to perform deep excavations, especially when the foundation is designed for the light skeleton construction, which will not transfer large loads. It is recommended to put the skeleton at a height of at least 30 cm above the level of the surrounding terrain, performing a plinth with a water resistant material.

Opting for isolation of floors using a mixture of hemp-lime composite, you must isolate material from the concrete slab in order to cut off capillarity process from the ground. The composite should be free to drying, so a good method is to put the mixture not directly on film, but on the loose material, e.g. perlite, clay (Fig. 3.3). Performing floors thermal insulation on the ground should be kept in mind the current thermal requirements concerning overall heat-transfer coefficient equal to $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ [2]. Composite layer should be well thickened, and the proportion of binder to the hemp shives should be greater than in the case of walls. Before laying the floor (e.g. boards) the surface of hemp-lime composite should be aligned by limestone mortar or by layer with the self-leveling mortar. This depends on the choice of the top layer of the floor in the used room.

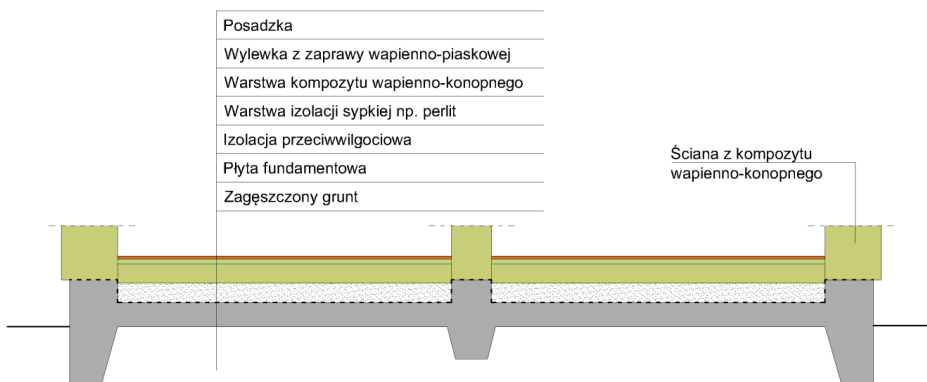


Figure 3.3. Schema of slab foundation with the layers of the ground floor

Legend:

posadzka – flooring; wylewka z zaprawy wapienno-piaskowej – spout with lime-sand mortar; warstwa kompozytu wapienno-konopnego – layer of hemp-lime composite; warstwa izolacji sypkiej np.: perlit – layer of loose isolation, e.g. perlite; izolacja przeciwwilgociowa – moisture insulation; płyta fundamentowa – slab foundation; zagęszczony grunt – compacted soil; ściana z kompozytu wapienno-konopnego – wall made of hemp-lime composite

3.3 Strip footings

Another possible solution is to implement the strip footings with foundation walls, e.g. from concrete blocks (Fig. 3.4, Fig. 3.5). To the foundation wall a wooden frame which is the construction

of the wall is attached. At the interface between wooden structure (ground beam) with a concrete foundation wall a horizontal waterproofing should be made. It is important that the hemp-lime wall, similar as each made of organic materials, should be performed on a plinth, which protects the material against rain water which is accumulating around the building. The sample solution is shown in Fig. 3.4. It is possible to execute a plinth of bricks, stones or other materials resistant to water, arranged on the foundation wall. If the plinth is set from the outside, it acts only as protection. Between the plinth and hemp-lime composite waterproofing should be made. The plinth can also be an element of construction, then a wooden construction of the wall is attached directly to it.

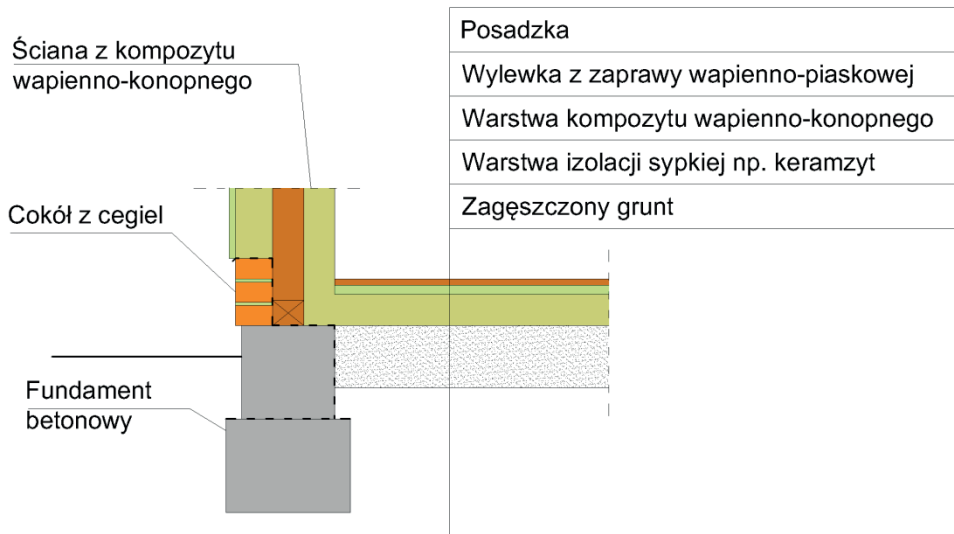


Figure 3.4. Wall made of hemp-lime composite sited on concrete foundation wall with plinth made of bricks

Legend:

fundament betonowy – concrete foundation; cokół z cegieł – plinth made of bricks; ściana z kompozytu wapienno-konopnego – wall made of hemp-lime composite; posadzka – flooring; wylewka z zaprawy wapienno-piaskowej – spout with lime-sand mortar; warstwa kompozytu wapienno-konopnego – layer of hemp-lime composite; warstwa izolacji sypkiej np.: keramzyt – layer of loose isolation, e.g. leca; zagęszczony grunt – compacted soil

In the case of strip footings, floors are made on compacted soil. Layer lying on the ground should be made from a material which, at the same time insulates thermally, provides drainage, as well as is non-capillarity – it is possible to use leca (Fig. 3.4). Optionally, on a layer of leca a geotextile can be laid to separate hemp-lime composite. Composite layer should be more thickened than the wall material. The upper surface of layer should be aligned by using lime mortar, which will constitute the base under the floor material, e.g. boards on joists (Fig. 3.5). The thickness of the two layers of thermal insulation should be adapted to the thermal requirements ($U \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) [2].

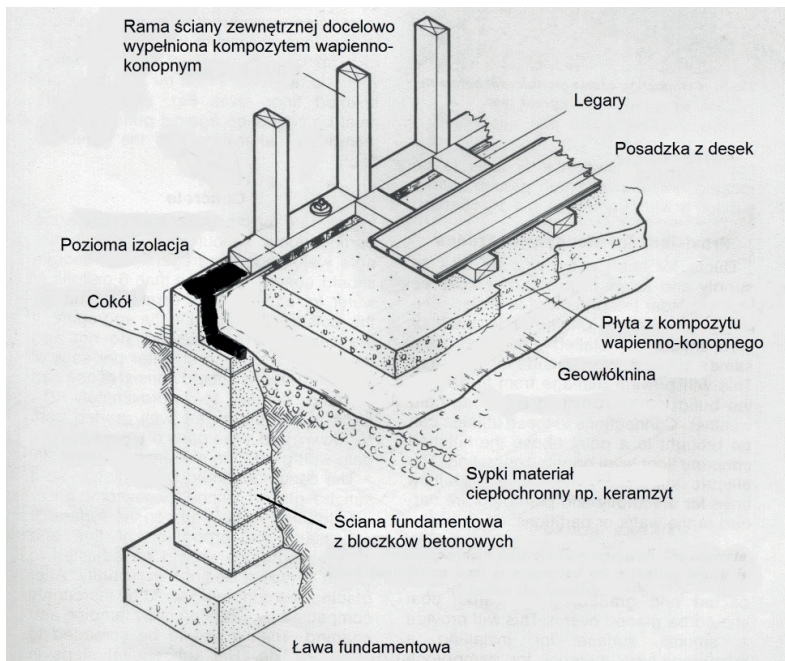


Figure 3.5. Wooden skeleton structure sited on strip footings and ground floor made of hemp-lime composite

Legend:

cokół – plinth; pozioma izolacja – horizontal insulation; rama ściany zewnętrznej docelowo wypełniona kompozytem wapienno-konopnym – external wall frame with target filling with hemp-lime composite; legary – joists; posadzka z desek – floor with wooden planks; płyta z kompozytu wapienno-konopnego – board from hemp-lime composite; geowłóknina – geotextile; sypki materiał ciepłochronny, np. keramzyt – loose insulating material, e.g. leca; ściana fundamentowa z bloczków betonowych – foundation wall made of concrete blocks; ława fundamentowa – strip footing

If you want to reduce the environmental impact of the building, it is also possible the execution of the foundation other than concrete, e.g. stone – stone-filled meshes (gabions) or excavation filled with limestone rocks in the shape of strip footings. Foundation techniques using stones are good in connection with technology based on the execution of the walls with organic materials, stones form some kind of drainage enabling drying of the lower part of the wall. They also protect against capillarity in walls. However, these are untypical solutions and require a lot of analysis.

3.4 Technology of walls erection using hemp-lime composite

Hemp-lime composite is primarily used as filling of the wooden skeleton walls in the monolithic form. After the foundations are ready the setup and fastening of wooden frame should be made. Wooden construction usually is fastened using metal connectors to concrete or stone foundations, keeping in mind the execution of insulation between the elements of wood and concrete (Fig. 3.6).



Figure 3.6. Connection of wooden frame and foundation [3]

The construction of the wall can be a wooden frame, consisting of ground beam, which is fitted to the foundation, e.g. bolts which are embedded in the concrete foundation wall, wooden poles spaced every 40-60 cm in length and beam finishing the frame, on which will be based the construction of the roof or ceiling (Fig. 3.7).

In places of holes in the walls, which are usually wider than the standard spacing of pillars, they should be reinforced (the double-pillars), on which the window frame or door frame will be set. The window or door heads are made of wooden rectangular beams or several interconnected planks, forming the beam (Fig. 3.8). If, however, the heads will be much loaded with ceiling or roof, you might want to consider implementation of the wooden flange beam. In Fig. 3.5 is shown the skeleton stiffening, which can be simultaneously a lost form work for a hemp-lime mixture. More specifically, this has been discussed further in the work.

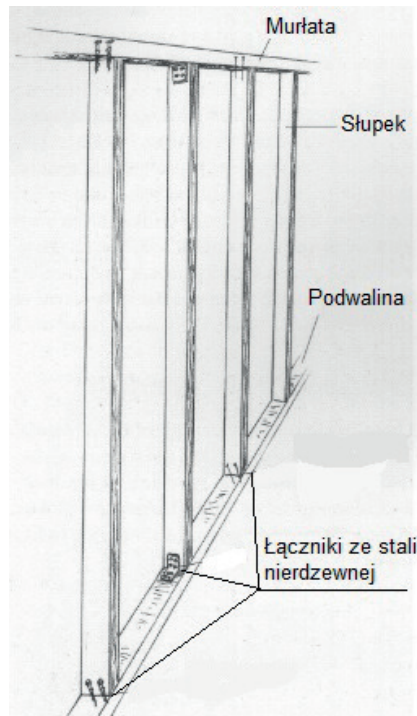


Figure 3.7. Schema of wooden frame [3]

Legend:

murlata – head beam; słupki – pillar; podwalina – ground beam; łącznik ze stali nierdzewnej – stainless steel connector

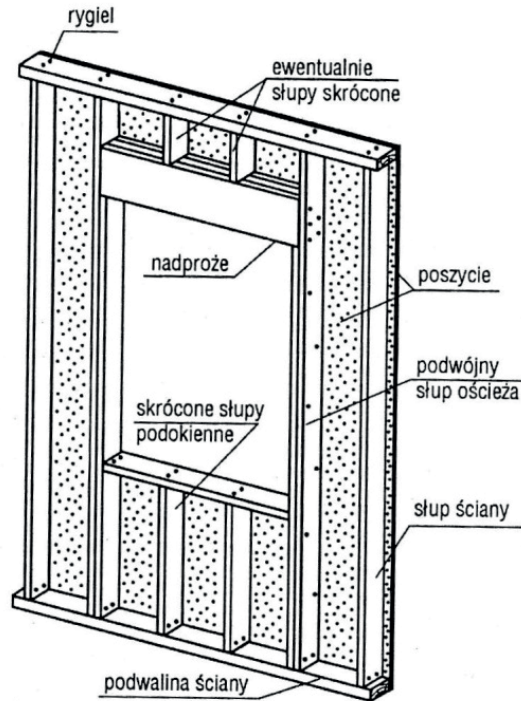


Figure 3.8. Window head made in wooden frame [4]

Legend:

rygiel – spandrel beam; ewentualnie słupy skrócone – possibly shortened pillars; nadproże – window head; skrócone słupy podokienne – shortened pillars below the window; podwalina ściany – ground beam of the wall; słup ściany – pillar of the wall; podwójny słup ościeża – double-pillar of window frame; poszycie – sheathing

Window opening from the bottom is limited by horizontal beam, which connects two pillars of window frame. This beam should support the shortened pillars below the window (Fig. 3.8). In a place where hole is to be made, you must attach the formwork to execute the window frame from hemp-lime composite (Fig. 3.9).



Figure 3.9. Preparation of formwork, which enables to make window hole in wall (the manual method of laying a mixture) [5]

When designing the skeleton of the building, in design should be avoided hard-to-reach places where more difficult will be the exact placement of the hemp-lime mixture. It should be also provided a method of attachment of formwork and building equipment, e.g. wash basin or heavy furniture, which will be hanging on the wall.

3.5 Locating of wooden frame

The partitions can be constructed in different ways, differing primarily in location of wooden wall frame. The most common is placing a wooden frame centrally or on the inside (Fig. 3.10).

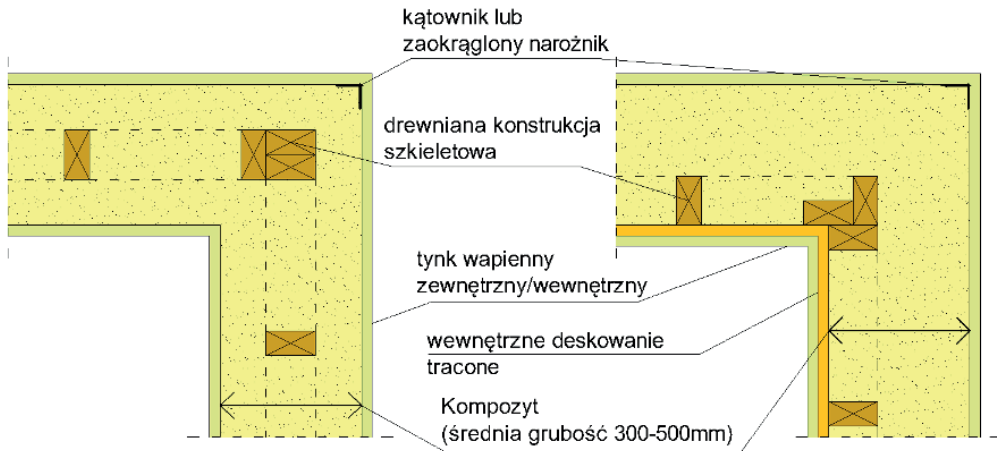


Figure 3.10. Schema of skeleton wall filled with hemp-based composite [6]

Legend:

kątownik lub zaokrąglony narożnik – angle or rounded corner; drewniana konstrukcja szkieletowa – wooden skeletal structure; tynk wapienny zewnętrzny/wewnętrzny – external/internal lime plaster; wewnętrzne deskowanie tracone – internal lost formwork; kompozyt (średnia grubość 300-500 mm) – composite (average thickness of 300-500 mm)

3.6 The central placement of the wooden framework in relation to the thickness of the wall

The first of the indicated ways is the central setting of the wooden framework in the thickness of the wall (Fig. 3.11). Cross section of pillars in one-floor buildings may be 50 x 100 mm, while in the double-floor buildings - 50 x 150 mm [3]. These are made examples, however the exact size should be chosen depending on the specifics of the project. In the corners it is recommended to increase the cross section of the pillar, e.g. by setting the two pillars directly with each other. In order to put the mixture inside the wall, a temporary formwork is installed. Using the adjustable bolts the required wall thickness is set. The bolts are attached to wooden pillars and covered with a plastic tube in order to remove the bolts after removing the formwork. Holes resulting from these joints are closed with hemp-lime composite. This solution has several advantages. Primarily around the wood is composite showing alkaline reaction, so the construction is protected against biological corrosion. Composite protects construction also against fire – by application to the hardened composite burner with a flame at a temperature of more than 1500°C, charred is only the

surface at the point of application of the flame [7]. From a static point of view, dead load is evenly and symmetrically distributed relative to the skeleton, and thickened, hardened composite is stiffening in the longitudinal direction, which eliminates the need to use the wind beam. However, depending on the specifics of the construction and builder's decision, in the case of large lateral loads a diagonal bracings are recommended, e.g. in the form of planks with a cross-section of 150 x 25 mm (Fig. 3.12), but can also be a tie-rods made of stainless steel. This bracing should be fastened after setting the skeleton.



Figure 3.11. Wooden framework sets centrally in relation to wall thickness [8]



Figure 3.12. Bracing of walls in the form of wind beams [3]

3.7 Placing wooden frame on the inner side of wall

Another way to construct the wall is placing a wooden frame on the inner side of the wall (Fig. 3.13). In this case, from the inside, it is possible to apply the lost formwork attached to the skeleton. Vapor permeability of formwork and composite should be comparable to allow drying of the wall. Formwork boards should also be resistant to the damaging effects of water, and so after absorbing water it should evaporate without affecting its properties. It can be a wood-fiber plates, MgO plates or e.g. mats made of wicker or cane. From the outside is used temporary formwork on the same principle as in the previous case. In this solution the dead load is not symmetrically distributed relative to the pillars, and the center of gravity of the wall is not in a place of pillar. So there is a risk of falling out a composite from the wooden structure on the outside. It is a good idea to mount the wooden laths perpendicular to the pillars in every 50-60 cm along the height of the frame (Fig.

3.14). They will provide better connection between composite and a wooden frame. The advantage of placing the frame from the inside is the possibility of mounting on walls heavy equipment such as cabinets or sinks. In other cases, additional construction must be performed during the execution of the walls, specially designed for this purpose.



Figure 3.13. Wooden framework placed on the inner side of wall with lost formwork [9]

It is also possible to put a wooden frame on external side, or double frame on the inner side of frame, which is transferring the load from the roof, and also to allow fastening of lost formwork boards, while the outer side-frames with smaller sections of its components, which are enabling the mounting of the façade. Both frames are connected with battens made of OSB or plywood. This allows for easier mounting of the formwork, but it is more labor-intensive, as regards the execution of the same construction.



Figure 3.14. Laths nailed to the wooden framework, which enables better connection between composite and skeleton [3]

3.8 Solutions of inner wall and corners

The construction of the inner wall is analogous to the outside wall. It is a frame in form of a pillars, the ground beam and the upper beam, which is a wreath. Upper beam should be strengthened, e.g. in the form of bounded by nails, two beams with a cross-section of the pillar (Fig. 3.15). The reinforcement is recommended due to the load of the roof or ceiling. In place of the connection between inner wall frame and the outer frame it is recommended to perform a double pillar in a frame of external wall.

Wall corners in wooden skeletal structures can be performed using various solutions, however, this place should be always strengthened in the form of, e.g. 3 pillars with sections that were adopted for the walls. In the Fig. 3.16 and 3.17 are shown the simplest and most frequently used solutions to the corners.

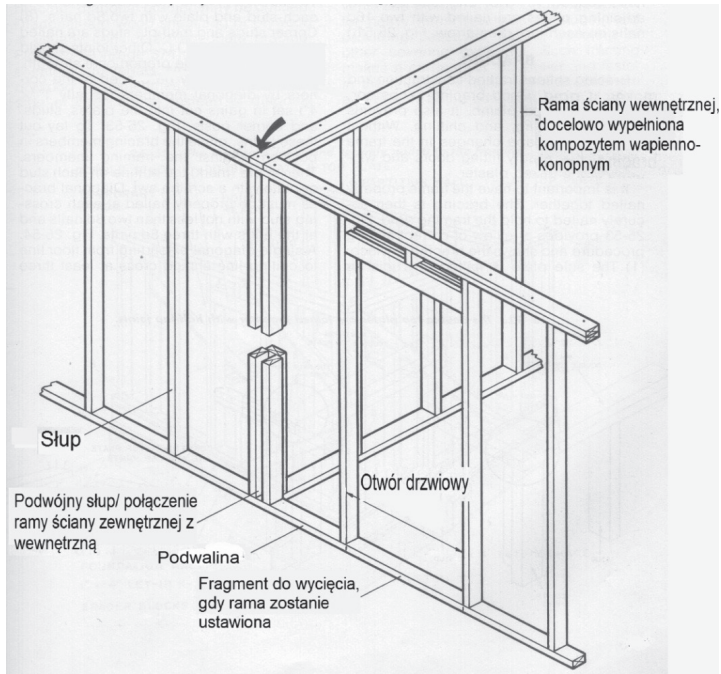


Figure 3.15. Connection of external wall frame with inner wall frame [1]

Legend:

słup – pillar; otwór drzwiowy – door opening; rama ściany wewnętrznej, docelowo wypełniona kompozytem wapienno-konopnym – internal wall frame ultimately filled by hemp-lime composite; podwójny słup /połączenie ramy ściany zewnętrznej z wewnętrzną – double pillar/ connection of external wall frame with internal wall frame; podwalina – ground beam; fragment do wycięcia, gdy rama zostanie ustawiona – a part to be cut, when the frame is set

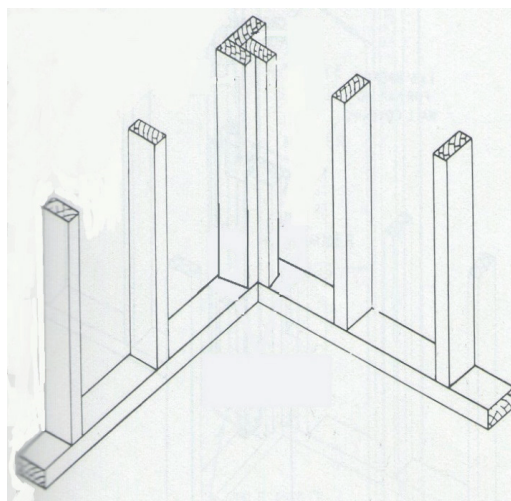


Figure 3.16. Solution of wall corner in building with wooden skeletal structure [1]

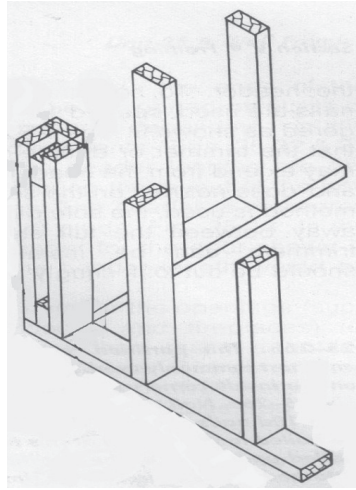


Figure 3.17. Solution of wall corner in building with wooden skeletal structure [1]

3.9 Application techniques of hemp-lime mixtures

Laying a mixture of composite in the formwork in small projects, such as bungalow, usually is performed manually. Formwork is set to a height of about 50-60 cm. Mix is distributed in formwork to form a layer about 10 cm, then is thickened by a wooden rammer, with particular attention for accurate filling of hard-to-reach spots and corners. The mixture should be lightly tamped so as not to cause deterioration of the partition thermal insulation parameters. This operation is repeated until completely fill a formwork, then wait a while until the composite harden, so that it was able to carry its own weight.

It is dependent from a composite recipe, but usually it is possible already after 4 hours. It is important to choose the appropriate binder. Hydrated lime as air binder binds very slowly as a result of carbonation, while for the wall erection early binding is important due to technological reasons – to be able to put another layers of the wall. Therefore, the lime binder should be modified by hydraulic or pozzolanic additives, which will accelerate the binding process. After removing the first layer of the formwork, it moves up in order to apply for the next batch of a mixture (Figure 3.18). Temporary formwork can be made of plywood, OSB boards, and with plastic boards.



Figure 3.18. Temporary wall formwork [9]



Figure 3.19. Mechanical method of mixture laying [10]

The mixture can also be given automatically using pumping engine (Fig. 3.19). This method is rarely used due to the need to have the proper equipment, as well as the profitability, which is visible at higher investments than bungalow. Under this method, using compressed air on the dry shives and lime binder are given, and at the exit of the pumping engine they are mixed with water supplied by the second cable, which makes that the contact with water is short. Due to this the drying process is shorter than in the case of traditional mixing and stacking. Due to giving the mixture under pressure, it is thickened in some way.

In order to meet the present thermal requirements for external walls, heat transfer coefficients should be no greater than $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ [2]. It is possible to execute the partition by using only a hemp-lime composite as a filling, without the need for additional layers of warming. The required thickness of the wall, which will be able to meet the mentioned above requirements depends on the applied composite, its density and recipe. However, usually the thickness of such wall should be within the range of 300-500 mm. Crossing the thickness of 500 mm, and even 400 mm is not advisable in view of the significant increase in drying time. With the need for a thickness larger than 400 mm a better solution will be to remain the thickness of 400 mm, whereas in order to increase the thermal insulation of the wall it is recommended to make a layer of thermal insulation from hemp wool on wooden grid.

Below, in Tab. 3.1 are shown 4 sample composites of different thermal conductivity and required wall thickness for the purpose of obtaining the relevant heat transfer coefficients.

Table 3.1. Heat transfer coefficients obtained for walls made of different hemp-lime composites, with different wall thickness

Thickness [mm]	$\lambda=0.08 \text{ W/mK}$	$\lambda=0.085 \text{ W/mK}$	$\lambda=0.09 \text{ W/mK}$	$\lambda=0.095 \text{ W/mK}$
	U [$\text{W/m}^2\text{K}$]			
300	0.25	0.27	0.29	0.30
350	0.22	0.23	0.25	0.26
400	0.19	0.21	0.22	0.23
450	0.17	0.18	0.19	0.20
500	0.16	0.17	0.17	0.18

3.10 Wires transfer through the walls

In the walls made in eco-technologies it is important to pay particular attention to the place and the placement of the wires. The easiest way to carry out electrical wiring through the walls is to put them after the execution of the construction, but before laying a mixture. This will avoid any subsequent grooves hammering in walls (and even this is not a problem in the case of a hemp-lime composite). The cables should be kept in plastic or metal (stainless steel) casings, which creates some protection of cables against mechanical damage, which could take place in the course of further work; what is more, thanks to the casings the flow of air around the cables is provided, which reduces the risk of overheating and possible ignition of the wall as a result of the crash. The wires may be along the wooden frame and, where is required, should be attached to the wood (Fig. 3.20).



Figure 3.20. Electrical wiring routed in the wall before laying the mixture [3]



Figure 3.21. On the left – cans attached to the wooden element of the construction of the wall, on the right – supplemented voids around the cans [3]

If in the wall is expected to mount a socket or switch, box should be attached directly to the frame or to a specially fitted for this purpose wooden element attached in a frame, so that the surface of a box should be leveled with surface of the wall. It will not then clash with walls formwork. Voids resulting from the inability to accurately fill the space around the socket can be filled with a mixture after removing the formwork (Fig. 3.21).

3.11 Technology of roof execution

The roof structure is not significantly different from those used in traditional technologies. In the case of wall materials vulnerable to the effects of rainwater, it is advisable to apply for a longer hood than in the case of homes made e.g. with ceramic materials, plastered.

3.12 Rafter roof construction

The design of the roof can be made as rafter roof (Fig 3.22). In the technology of filling out the partitions with hemp-lime composite, the space between the rafters should be filled with this composite, which will be acting as a thermal insulation. The sample solution is shown in Fig. 3.23.

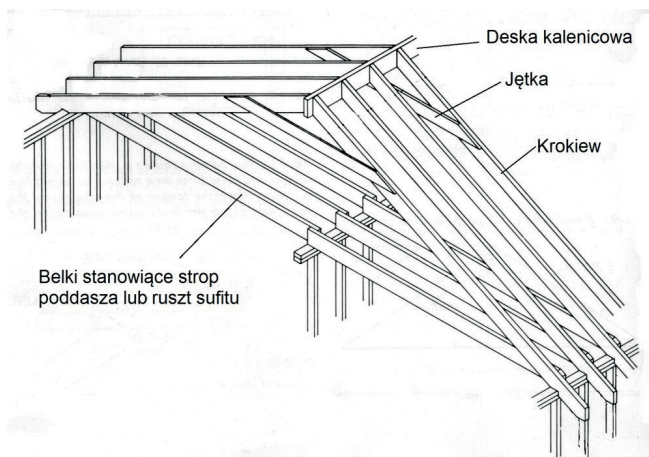


Figure 3.22. Sample of rafter roof structure supported on wooden wall [1]

Legend:

deska kalenicowa – ridgepole; jętka – mayfly; krokiew – rafter; belki stanowiące strop poddasza lub ruszt sufitu – beams forming the ceiling of the attic or ceiling grid

Rafters on the underside can be nailed by lost formwork in the form of plates with good vapor permeability parameters, as in the case of walls. In such way substrate for thermal insulation made of hemp-lime composite is prepared. In this case, in view of the current thermal requirements for roofs – heat transfer coefficient shall be less than $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ [2] – it is recommended to apply the mixture with a lower density than for the walls. Such quantity of binder should be used to protect shives against biological corrosion. The mixture should also not be thickened, just make sure about its accurate distribution and filling hard-to-reach places (Figure 3.24).

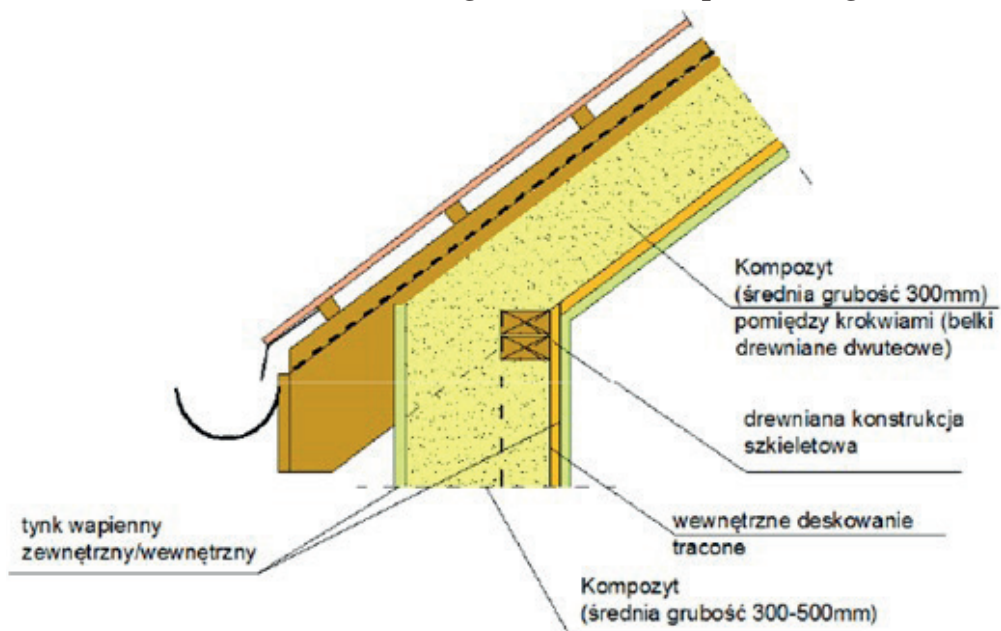


Figure 3.23. Connection between wall and thermal insulation of roof in hemp-lime technology

Legend:

tynk wapienny zewnętrzny/wewnętrzny – external/internal lime plaster; kompozyt (średnia grubość 300-500 mm) – composite (average thickness of 300-500 mm); wewnętrzne deskowanie tracone – internal lost form work; drewniana konstrukcja szkieletowa – wooden skeletal construction; pomiędzy krokiewiami (belki drewniane dwuteowe) – between rafters (wooden flange beams)

An alternative could be the execution of a thickened layer of composite placed on temporary formwork between the grids from laths nailed from the bottom of the rafters. A thin layer of thickened, hardened composite (approx. 5 cm) would be a good background for insulation made of composite with less density.

The next layer of sheathing can be such as is done in traditional technologies, which is a wooden grid attached in the form of counter-laths and laths. Roofing is also arbitrary. It is important to ensure the possibility of drying out a hemp-lime mixture, namely, do not cover it with the initial mating film without leaving the ventilation void.

The advantage of the use of a hemp-lime mixture to build the walls and roofs warming is to ensure the continuity of the thermal insulation at the junction of the roof with the wall (Figure 3.25).



Figure 3.24. Laying of insulation between the rafters at lost formwork [11]



Figure 3.25. Tight connection of wall and roof insulation [9]

In the case of when – in view of the specificities of the roof structure – it is not possible to apply a thicker layer of insulation made of composite, you can make the bottom layer of hemp wool, e.g. on wooden grid. The coefficient of thermal conductivity for hemp wool is about 0.040 W/mK [12].

At considerable lengths of the roof instead rafters of rectangular cross-section, laminated wood rafters can be applied with a cross-section of flange beam, which advantage is also reducing the linear thermal bridge in place of the rafter and reducing the dead weight of construction.

3.13 Truss structure

Besides flange beams also can be used wooden trusses, e.g. in the implementation of the halls, warehouses, as well as in residential buildings (Fig. 3.26, Fig. 3.27).

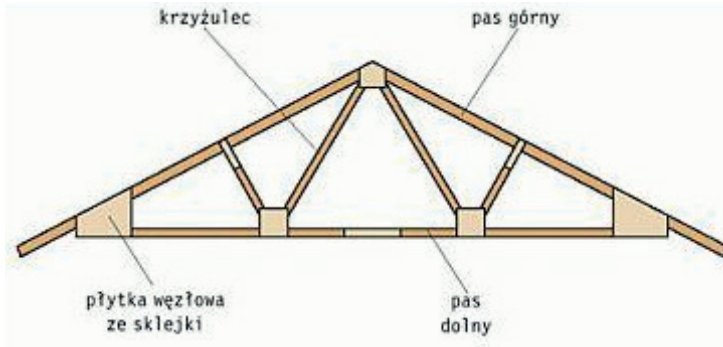


Figure 3.26. Sample of truss structure [13]

Legend:

krzyżulec – diagonal beam; pas górny – upper beam; pas dolny – bottom beam; płytkę węzłową ze sklejki – junction plate made of plywood

Roof truss can be insulated with hemp wool laid between wooden grid attached to the bottom beam of the truss. From the bottom of the truss to the bottom beam can also be attached the lost formwork slabs of materials similar to those which have been discussed previously, to ensure the diffusion of water vapor. On so prepared background it is possible to put a mixture of hemp-lime composite as a thermal insulation by keeping the rules described in chapter about rafter roof. In this case, the continuity of the insulation must be preserved, if the wall will be made in the same technology (a wooden skeleton filled with composite).

The roof structure in the form of the rafters or trusses should be based on a reinforced wooden, upper beams of wall frame. It is possible to execute the connection through the nodes, as well as through the connectors in the form of steel angles fixed to wooden elements by screws. Angles of different sizes are available to the public, but it is also possible to their self-realization using rods or other steel elements. Sample solutions of connection between rafters/trusses and wall structure is shown in Fig. 3.28 and Fig. 3.29.



Figure 3.27. An example of a roof structure made of trusses [14]

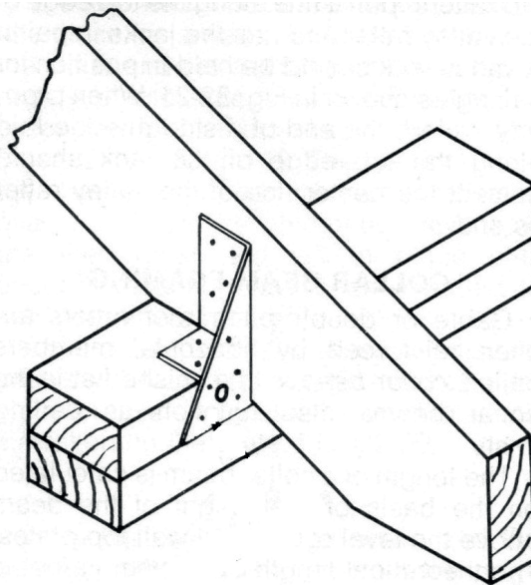


Figure 3.28. Connection between rafter and upper beam of external wall frame [1]

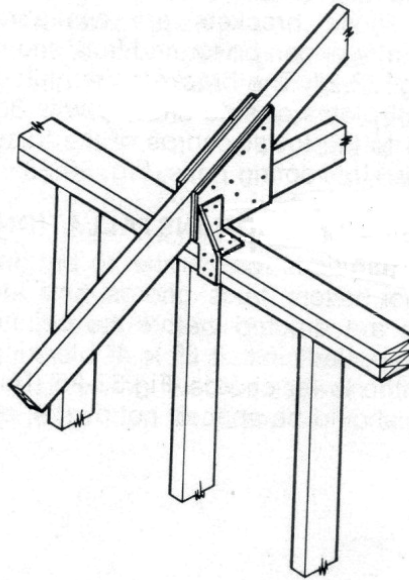


Figure 3.29. Connection between truss and upper beam of external wall frame [1]

Bibliography

- [1] Feirer J.L., Hutchings G.R.: *Carpentry and Building Construction*. Glencoe Publishing Company, 1989.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) ze zmianą z dnia 01 stycznia 2014 r. (Dz.U., poz. 926).
- [3] Stanwix W., Sparrow A.: *The Hempcrete Book – Designing and building with hemp-lime*, Green Books, England, 2014.
- [4] Miedziałowski C., Malesza M.: *Budynki o szkieletcie drewnianym z poszyciem. Podstawy mechaniki konstrukcji oraz zagadnienia konstruowania i realizacji*. Polska Akademia Nauk, Warszawa-Białystok, 2006.
- [5] www.hempcretehome.com
- [6] Fic S., Brzyski P., Jarosz-Hadam M.: *Możliwości wykorzystania odpadów lnianych i konopnych do szerokiego zastosowania w budownictwie*, [W]: S. Kondracki, K. Zarzecka, *Współczesne dylematy polskiego rolnictwa Part II*, Publishing House PSW JP II, Biała Podlaska, 2015, p. 128–137.
- [7] Allin S.: *Building with Hemp*, Seed Press, Ireland, 2012.
- [8] Sparrow A.: *Building with Hempcrete (hemp-lime) – Essential Tips for the Beginner*, The Last Straw, 64, 2014.
- [9] www.limecrete.co.uk

[10] www.inmateria.com

[11] www.hempcrete.com.au

[12] www.steico.com

[13] www.prefa-bud.pl

[14] www.kreocen.pl

the number of characters with spaces: 26 054

РАЗДЕЛ I

ВОЗВРАЩЕНИЕ К ТРАДИЦИИ – ВОЗМОЖНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ВОЛОДОННОЙ КОНОПЛИ В РАЙОНЕ ВОСТОЧНОЙ ПОЛЬШИ

1.1 Введение

Макрорегион Восточной Польши представляет собой плотную площадь с самым низким показателем уровня экономического прогресса в Польше, и является одним из самых регрессивных в Европейском Союзе. Характер проблем макрорегиона, отрицательно влияющих на общественно-экономическую ситуацию и перспективы развития этой территории, в большой степени сводится к его структуре, которая является обусловленным исторически последствием.

Проблемы дополнительно усиливаются периферийным расположением макрорегиона – он находится на наружном рубеже Европейского Союза, за которым располагаются, в большой степени, территории еще менее развитые. Возвращение к корням, т.е. выращиванию волоконной конопли, особенно в районах Восточной Польши, является шансом для земледелия и улучшения экономической ситуации земледельческих хозяйств.

1.2 История выращивания конопли

Европейским магнатом по выращиванию конопли является Франция. Выращивание ненаркотической конопли очень распространено также в Германии. Польша обладает многолетней

традицией в этой области. Выращивание охватывало в основном, территории Восточной Польши: территорию люблинских земель и Подлясье, а также Великопольшу. Первые исследования, касающиеся выращивания, производства волокна, технологии переработки и использования сырья, велись в довоенный период [1,2]. Из отечественных сортов конопли получались: великолепного качества волокно для полотна, канаты. Они не обладали наркотическими свойствами. В связи с трудоемким и дорогостоящим процессом переработки, конопля вытесняется из рынка рапсом, импортным хлопком, джутом, сизалем и синтетическими материалами. В 60-ые годы, площадь выращивания волоконных растений, составляла около 30 тыс. гектаров. Проблемы со сбытом, а также низкая окупаемость производства конопли, привели к тому, что земледельцы постепенно начали отказываться от выращивания этого растения. Полное падение наступило в начале 90-ых годов, когда поверхность выращивания конопли неожиданно понизилась с 2650 гектаров в 1989 г., до 48 гектаров в 1992 г. В следующие годы, почти целиком перестали выращивать коноплю, также на территории люблинских земель. По данным Главного статистического управления, в 2011г. отмечено на люблинской территории лишь 2 гектара поверхности, на которой выращивалась конопля. Эти растения стали забытыми наряду с развитием технологии, а также цивилизационным прогрессом. К исключению выращивания конопли, причинилось распространение наркотиков, производимых из индийских сортов конопли, т.н. марихуаны. В настоящее время, выращивание конопли подлежит обостренному правовому контролю, который определяется Положением с 24 апреля 1997 г. о противодействии наркомании. В Положении имеется запись, которая разделяет коноплю на волоконную и другие сорта, которые могут служить одуряющим целям. Волоконной коноплей считаются те растения, которые содержат менее 0,2% ТГК (тетрагидроканнабинол) в сухой массе травы. Растения, содержащие выше количество ТГК, считаются наркотическими, а их выращивание, оборот и обладание ими, запрещается. Положение о противодействии наркомании, трактует коноплю, как мак, т.е. растение, подлежащее строгому

контролю, даже, если выращиваются сорта со следовым количеством наркотических веществ. Ненаркотические сорта конопли очень распространены в Германии, где производят из них много косметических и пищевых продуктов, а также термоизоляционные материалы, применяемые в постройке сооружений. Запрет выращивать высоконаркотические сорта конопли (напр. индийской), привел к необходимости поиска новых видов этого растения. В государственном реестре Главного центра по исследованию сортов посевных растений (COBORU), находится шесть сортов конопли, выращенных в Институте природных волокон и лекарственных растений в Познани: Бялобжеская, Бенико, Райан, Тыгра, Войко и Великопольское. Это конопля однодомная, типично волоконная, содержащая менее 0,2% каннабиноидов и одновременно характеризующиеся высокой экономической эффективностью.

1.3 Почвенно-климатические требования

Сорта волоконной конопли, зарегистрированные в государственном реестре COBORU, имеют период вегетации, соответствующий условиям умеренного климата и поэтому могут быть выращиваемые на территории Восточной Польши. Польские сорта однодомной конопли, принадлежат к центрально-европейским формам растений. Они приспособляются к условиям умеренного климата и после обеспечения необходимых к их правильному росту требований, могут выращиваться во всей стране [10]. Обеспечение оптимальных почвенно-климатических условий и применение соответствующей агротехники, гарантирует получение большого сбора семян, соломы и волокон, которые отличаются определенными технологическими параметрами. В период вегетации, конопля требует 200 – 300 мм осадков, однако в процессе её выращивания, значительно большую роль, чем высокий уровень атмосферных осадков, играет достаточное количество воды в почве [7]. Для правильного развития конопли, существенной является

не только общая сумма, но и разложение осадков во время вегетации. Потребление воды связано с интенсивностью роста растений – самое высокое в период быстрого роста ростка в длину у растения. В польских условиях, сумма осадков вполне хватает конопли для правильного развития, потому что корневая система, поскольку не помещает уровень грунтовой воды либо вид почвы, достигает глубоко, что позволяет приобрести воду из более глубоких ее слоев и выжить периоды засухи. Несмотря на высокую потребность в воде, конопля плохо выносит высокий уровень грунтовых вод, который на минеральных почвах не должен превышать 80 сантиметров. Излишняя влажность, превышающая 80% полевой водной емкости почвы, притормаживает развитие корневой системы и отрицательно влияет на рост конопли. Конопля зачисляется к теплолюбным растениям. Потребность конопли в теплоте, относительно высока. В географическом поясе между 51° и 58°, сумма теплоты составляет 2000-2600°C. Тепловая потребность в период от процесса роста до их окончательной технической зрелости, составляет 1900-2000°C, зато до биологической зрелости, составляет 2700-3000°C. Для правильного роста конопли, важно достаточное количество тепла в период её наиболее интенсивного развития, т. е. в июне и июле. Ведущиеся до сих пор наблюдения доказывают, что низкая температура и отсутствие осадков в этот период, препятствуют росту и отрицательно влияют на высоту получаемого урожая соломы, волокна, семян, зато оптимальная температура в те же месяцы, позволяет ежедневно увеличиваться конопля в более 10-12 см. Семена прорастают при температуре 8 - 10 °C в течение 8 - 12 дней. Молодые растения выносят заморозки до -6°C [13,3], что дает возможность сеять их относительно рано. Ранний сев конопли, позволяет достигнуть биологическую зрелость не позже, чем половина сентября. В наших климатических условиях имеет это существенное значение, в связи с необходимостью подсушить солому и семена. Температура и осадки содействуют друг с другом, а растения в состоянии компенсировать себе невыгодный эффект погодных условий, присущих в одной из фаз развития. Срок посева

является существенным элементом агротехники, потому что развитие конопли в преобладающей степени зависит от количества света, а особенно от длины дня (в условиях долгого дня удлиняется фаза вегетативного роста). Конопля является растением, которому характерен интенсивный рост. Очень быстро производить огромное количество зеленой массы. Одним из основных условий получения высокого урожая, является подбор соответствующей почвы. Конопля считается растением речных долин и низин. Наиболее соответствующими для неё, являются плодородные почвы, богаты гумусом, азотом и кальцием, реакция которых нейтральная или слегка щелочная [10,4]. Следует избегать легких песчаных почв и тяжелых глинистых, а также постоянно подмокших площадей. Великолепным местом обитания являются новые площади земель, на которых конопля находит хорошие условия и вдобавок очищает их от сорных растений. Сделанный в Институте природных волокон и лекарственных растений в Познани анализ почвенно-климатических условий Польши указал, что выращивание этого растения невозможно на территории всей страны.

1.4 Агротехнические требования

Место в севообороте. Конопля отличается очень хорошей толерантностью т.е, при соответствующей плодородности и соответствующем удобрении почвы, можно её выращивать многократно, на тем же самом месте, без потерь в урожае. Следует однако помнить, что тогда повышается возможность и условия к распространению грибковых заболеваний и появлению земельной блохи. При выделении соответствующего места посева и его оборота, следует учесть следующие черты конопли:

- введение конопли в плодосев можно рассматривать, как контроль за сорняками,
- производя большое количество биомассы, препятствует росту сорных растений,

- в эффекте глубокого разложения и развитой корневой системы, обеспечивает хорошую вентиляцию почвы и гумусоснабжение,
- затеняя и заслая почву, оставляет ее в хорошем состоянии, а затем является великолепным растением, которое приготавливает то же самое поле к посеву хлеба (в случае пшеницы, посев которой происходит перед зимой, наблюдается рост сборки урожая на 20%).

Удобрение. Конопля, отличающаяся быстрым приростом биомассы, нуждается не только в плодородных почвах, но также и в соответствующем удобрении. Чем место обитания менее урожайное, тем сильнее должно быть удобрено. Предлагаемые дозы чистых химических элементов:

- 90 – 120 кг/га N,
- 70 – 100 кг/га P₂O₅,
- 150 – 180 кг/га K₂O,
- на кислых почвах – 15–20 ц/га CaO.

Последовательные питательные элементы, влияют по-разному на качество и количество полученного урожая: азот влияет на рост растения, калий способствует образованию волокон, а фосфор помогает в образовании семян. Как и в случае формирования биомассы других растений, решающую роль в определении величины урожая соломы и волокна играет азот. Чрезмерная доза азота продлевает срок вегетации конопли, способствует буйности растений и понижает содержание, а также качество волокна в стебеле.

Срок сева. Надлежащий срок сева, в значительной степени устанавливается ходом погодных условий весной и имеет основное значение во время выращивания конопли. В Южной Польше, оптимальный срок сева конопли происходит в I и II декаде апреля, а в Северной Польше, продлевается до половины мая. Посев конопли на холодную почву, приводит к слишком долгому прорастанию семян и увеличению процента исчезания растений. Зато чрезмерная просрочка посева, сокращает вегетационный период, понижая урожайность и качество урожая. Конопля, посеянная очень поздно, т.е. в начале июля, созревает немного позже, чем посеянная в начале

апреля, однако приносит она значительно меньший урожай соломы, особенно волокна и семян.

Густота сева и расстояние между рядами. Сеют лишь высококачественный посевной материал. Оптимальное расстояние между рядами высева конопли, зависит прежде всего от предназначения урожая и почвенно-климатических условий. Количество растений на единице площади поля, имеет основное значение для продуктивности и качества волокна. На семенных плантациях, предполагается посев 10-15 кг/га и 50-ти сантиметровое расстояние между рядами. На промышленных плантациях, применяется расстояние между рядами 7,5-15 см, а количество высева зависит от предназначения выращивания и составляет от 40 до 70 кг/га:

- 30 – 40 кг/га – биокomпозиты

- 60 – 70 кг/га – целлюлоза (волоконное предназначение).

Уход за растениями. Учитывая сильный рост конопли и конкурентоспособность по отношению к сорным растениям, уход за коноплей, может оказаться лишним, особенно в случае выращивания для волоконного предназначения. Если, однако, почва обладает низкими свойствами, то предлагается применять предвсходовый гербицид - Афалон – дозой 1-1,2 кг/га.

Вредители и болезни. Конопля только в небольшой степени, либо вообще, не требует применения средств защиты растений. Однако, вместе с распространением выращивания и концентрацией плантаций конопли, следует учитывать возможность наличия вредителей (напр. хмелевой блохи, кукурузной огневки), а также болезней (напр. гангрена проростков, серая гниль, склеротиноз).

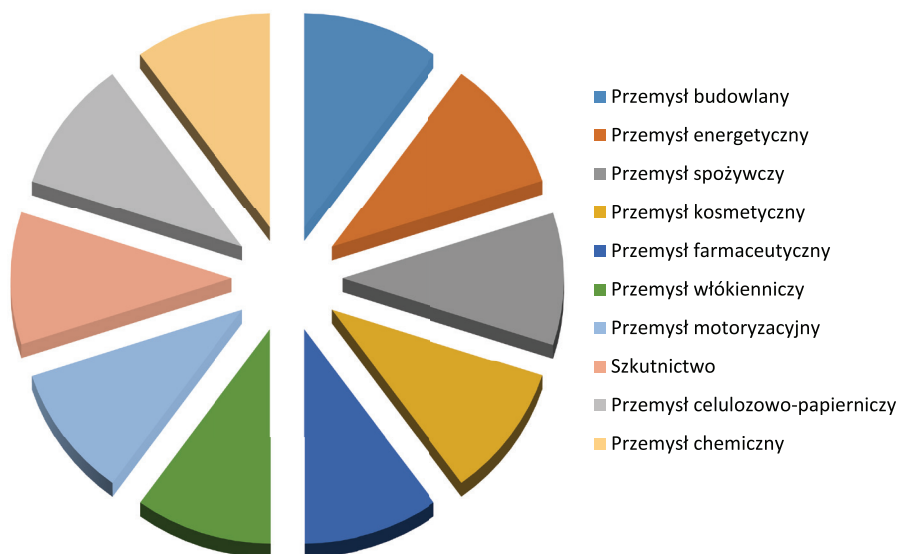
Срок сбора. Срок сбора конопли принадлежит к важнейшим факторам, обуславливающим величину и качество урожая. Зависит он, прежде всего, от климатических условий в период вегетации, сорта и направления возделывания. Сбор происходит в августе-сентябре. В полной зрелости, когда созревают семена в центральной части метелки, собираем семенные плантации

– задержка оборудования вызывает осип семена и потери связанные с кормлением птиц, возникновением заболеваний и понижением посевного материала.

На промышленных плантациях в этот же срок, получается высокий сбор урожая волокна и чуть худшего качества семян, которые являются промышленным материалом (напр. для производства масла или корм для птиц, либо рыб). Сбор через 1-2 недели после цветения, позволяет получить высокий урожай крепкого волокна, зато собирая его около двух недель раньше, получаем нежное прядильное волокно.

1.5 Экономическое значение конопли

Наряду с ростом экологического сознания и поиском альтернативных источников сырья в 90-ые годы прошлого столетия в Европе и мире, открыли коноплю заново, как растение, полезное в земледелии и во многих отраслях промышленности. Свидетельствуют об этом широкие возможности использования этого растения, представленные на Рис. 1.1.



(отрасли промышленности, указанные очередно на диаграмме: строительная; энергетическая; пищевая; косметическая; фармацевтическая; текстильная; автомобильная; судостроение, бумажно-целлюлозная, химическая)

Рис. 1.1. Возможность использования волоконной конопли в промышленности

В строительной промышленности применяются костры и клочки конопли, т.н. *льняная пакля*, применяемая, как экологическое утепление домов. В Европе, все популярнее становится технология производства *Hempcrete*, использующая коноплю и известь. Этот материал в семь раз прочнее бетона, но на половину легче, негорючий, который после разрушения дома, можно использовать в качестве удобрения. Великолепно выполняет функцию изоляционного материала, строительного материала для конструкции крыш, стен и полов. Он водостойкий, не горит и в случае потребности, подвергается разложению целиком. Костры используются также в мебельной промышленности и очень хороши для наружного утепления зданий. Конопля обладает хорошими изоляционными свойствами: не пропускает тепла и одновременно, не закрывает доступа воздуха, что ограничивает развитие грибов и предупреждает сырость. В Познани, на территории Естественного университета, в рамках экспериментального проекта, создан дом из конопли. Это первое в Польше такого типа здание. Технология строения домов, при использовании конопли, характеризуется исключительными экологическими чертами, в основном, из-за свойств поглощения CO_2 этим растением.

Энергетическая промышленность. Получаемая ежегодно биомасса, является ценным энергетическим сырьем. Источником энергии может быть не только целое растение, но и побочный продукт, производимый из его переработки, т.е. костр, составляющих 70-75% урожая. Конопляные костры выступают в виде брикета, который используется, как топливо и является великолепным источником возобновляемой энергии. Костры конопли это производственные отходы, содержащие много лигнина и целлюлозы, и поэтому они пригодны для биомассы – во время их сжигания, производится больше энергии, чем во время сжигания древесины. Эти отходы дают столько же тепла, как среднего качества уголь – они при этом дешевле его. Костры конопли имеют самую высокую среди всех основных сельскохозяйственных продуктов, полезную отдачу тепла. В лаборатории Института

природных волокон и лекарственных растений в Познани, при использовании PN 81G-04532, определено энергетическую стоимость соломы и костр конопли, некоторых видов однолетних и многолетних растений, а также топливной щепы – итоги исследования представлены на Рис.1.2. Исследования доказали, что энергетическая стоимость превышает 18 МДж/кг. Для сравнения, древесину характеризует низшая теплота сгорания, на уровне 17 МДж/кг, но дополнительно, перед пеллетизацией, должна быть поддана процессу сушения и раздробления, что значительно повышает стоимость получения сырья [9].

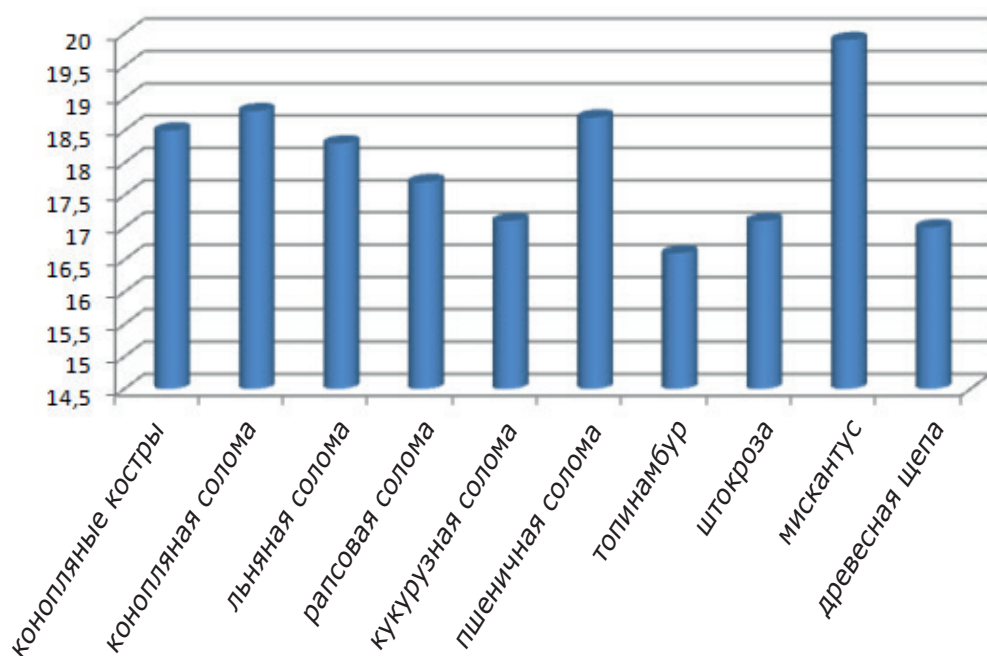


Рис. 1.2. Теплота сгорания избранных видов растений МДж/кг по данным Института природных волокон и лекарственных растений в Познани

Институт природных волокон и лекарственных растений в Познани, возлагает огромную надежду на использование конопли для производства биомассы. Сотрудники института вырастили новые виды конопли, которые очень быстро растут и в течение 4 месяцев, достигают высоту до 3,5 м. Благодаря этому, из 1 га можно получить 15 тонн биомассы.

Конопля является альтернативой для всяких возобновляемых источников энергии, даже по отношению к лесам. Биомасса из волоконной конопли сжигается, выделяя меньше окиси и диоксида углерода, чем уголь, либо природный газ, что причиняется к тому, что из конопли можно производить экологическое топливо. В климатическом поясе Польши, имеются очень хорошие условия для выращивания конопли – день долгий, ускоряющий рост.

Пищевая промышленность; в которой масло и семена конопли ценятся за их высокие питательные ценности. Из конопли можно получить масло, сладости, хлеб, растительное масло. Производственные отходы применяются в качестве корма для сельскохозяйственных животных, а семена используются, как корм для птиц. Во многих странах, конопля является источником пищи - в Китае, жареные семена являются популярной закуской, а в России и Латвии, производится масло и диететическое масло. В старопольских кулинарных рецептах, масло из конопли определяется, как постное и предлагается, как добавка ко многим блюдам.

Косметическая промышленность; в которой конопля применяется для производства кремов и масел для сухой кожи, от чешуйчатого лишая, угрей, мышечных болей и старения кожи. Масло из конопли является веществом, обладающим питательными свойствами и сильным регенерационным действием на уровне клеток кожи. Очищает, питает, обеспечивает энергоснабжением клетки, исправляет их правильное водоснабжение, способствует устранять умершие ткани.

Фармацевтическая промышленность; в связи с содержанием в волоконной конопле многих целительных веществ, её применяют, как лекарство от страха, болеутоляющее, антипсихотик, противовосполительное средство, антиоксидант, противосудорожное лекарство, а также антибиотик. Конопля используется для производства лекарства *Sativex*, утоляющего невропатические боли, появляющиеся у пациентов, болеющих рассеянным склерозом. Конопля используется также

в производстве лекарства, называемого *Mariol*, применяемого в лечении СПИД-а и анорексии. Компоненты, которыми обладает конопля, вероятно, будут использованы к созданию препарата (который пока в фазе производства) под названием *Acomplia*, служащего к борьбе с дырными привычками и ожирением.

Текстильная промышленность; конопляная одежда легка, сквозна, легко пропускающая воздух и стойка. Из конопли производятся ткани, трико, технические волокна. Конопля принадлежит к самым старым выращиваемым растениям. В соломе волоконной конопли, в зависимости от сорта, находится 20-30% волокна. 500 лет до нашей эры, в Китае, конопляное волокно было использовано для производства одежды, канатов и веревок. Конопляные ткани целиком натуральны, приятны для тела и создают эффект «второй кожи», хорошо пропускают воздух и хранят тело от изменяемых термических условий. Летом создают чувство холода, а зимой согревают, даже если ткань мокра. Материалы из конопли не приводят к аллергическим реакциями и повреждениям кожи. Натуральность, экологичность и здоровый характер, сохраняются уже на этапе выращивания растений, во время которого не применяются химические удобрения и синтетические компоненты. В Польше дистрибьютором одежды из конопли является компания *Ekokonopie*.

Автомобильная промышленность; волокна конопли тестировались, как один из составных элементов, использованных при производстве кузовов автомобилей. Машины, между прочим, из конопли, построил визионер автомобильной промышленности, Генри Форд в 1941г. В настоящее время, элементы, сделанные из конопли, можно найти во многих немецких автомобилях. Большая часть сборов конопли в Германии, используется локальной автомобильной промышленностью. В 2008г., также компания *Lotus Cars*, заявила о новом виде «зеленого автомобиля», сделанного на базе конопли, модели *Eco Elise*. Компания *Motive* построила малый, электрический автоиобиль, весом около 850 кг, кузов которого сделан из легкого, стойкого и ржавчиноустойчивого

ламината, сделанного на базе конопли. В автомобильной промышленности, конопля используется для производства биотоплива. Смесь масла из конопли и 15% метанола – это субститут нефти для машины в двигателях типа дизель (его сжигание продуцирует на 70% меньше сажи, чем в случае горючего, производимого из нефти).

Судостроение; во время расцвета дальнего плавания, до конца XIX века, 70% канатов всех судов, было сделано из волокон конопли, устойчивых к разрыву и воздействию влаги.

Бумажно-целлюлозная промышленность; первая бумага изобретена в Китае, была произведена из волокон конопли. До конца XIX в., около 90% производства бумаги, происходило из переработки конопли. Во время промышленной революции, потребление бумаги возросло, что привело к приобретению бумаги из натурального сырья. Производство бумаги из конопли в четыре раза более продуктивное, чем древесной бумаги. Эта бумага прочнее и лучше по качеству. Солома из конопли содержит 70% целлюлозы. Годовой прирост целлюлозы, продуцированной коноплей, в 2,5 раза выше, чем прирост, получаемый из деревьев. В XX в., волокна конопли были основой производства сигаретной бумаги, лабораторных фильтров, фильтров для кофе, сумок для чая. В настоящее время, только 0,05% бумаги в мире, производится из конопли. 1 га конопли дает столько бумажной массы, что 4 га леса. Конопля, как однолетнее растение, дает сырье с каждым годом, а её косьба не вредит окружающей среде.

Химическая промышленность; смолы, внешние слои, клеи, полиуретановые пены, композиты. При использовании конопли, можно производить нетоксичные краски, лаки и детергенты.

1.6 Перспективы выращивания конопли

Конопля, благодаря специфическим биологическим свойствам, требованиям по выращиванию и разным направлениям использования, зачисляется к урожаю

о большом значении в достижении идеи устойчивого развития сельского хозяйства. Продуцирует огромное количество зеленой биомассы, которая затеняет почву во время вегетации, а хорошо развитая корневая система, после сборки растений, подвергается разложению. Корневая система конопли, исправляет структуру почвы путем соответствующего проветривания и нагромождения гумуса. Конопля является хорошим предшественником для других растений, не требуется в средствах защиты растений, она стойка к болезням и вредителям, а использованный материал, сделанный из конопли, при невысоких издержках, хороший для переработки путем рециклинга. Листья конопли могут быть использованы для кормовых целей. Растения конопли, благодаря абсорбции CO_2 , причиняются к ограничению парникового эффекта (1га абсорбирует около 2,5 т CO_2), зато во время сжигания биомассы, выделяют в атмосферу менее CO_2 и CO , чем ископаемое сырье. Коноплю можно выращивать на зараженных местностях, где абсорбируя тяжелые металлы, такие как кадмий, свинец, цинк, медь, причиняются к их рекультивации. В 2012 году, Институт природных волокон и лекарственных растений, внедрил проект, цель которого сводился к рекультивации испорченных почв на территориях, где закрыли шахты, путем посева волоконной конопли.

Выращивание конопли должно заинтересовать земледельцев из района Восточной Польши, также в связи с невысокими требованиями по выращиванию. Климат Польши делает нашу страну (вне горных цепей) идеальным местом для выращивания конопли. В каждом районе можно найти соответствующие места для выращивания – к ним принадлежат, между прочим, люблинские черноземы. Одним климатическим препятствием в ранней фазе выращивания (с начала роста до конца цветения), может быть дефицит воды. Важным элементом является подбор соответствующего места для выращивания – самые хорошие территории, задерживающие воду в почве и остающиеся под соответствующим воздействием солнечного света. В связи

с развитой корневой системой в процессе выращивания конопли, большую роль играет достаточное количество воды в почве, чем большой уровень атмосферных осадков. Коноплю можно выращивать на минеральных и торфяных почвах. Лучшими являются глубокие почвы, богаты гумусом и известью, непрочные, проветренные, но хорошо держащие воду. Коноплю можно выращивать на почвах среднего класса при условии правильного удобрения и низкого уровня сорных растений. Для выращивания непригодны тяжелые почвы, глины, легко превращающиеся в скорлупу и непроницаемые, а также слишком сухие глино-песчаные почвы, не пригодящиеся для высокой культуры. Существенной чертой конопли, с точки зрения ее выращивания, является использование удобрительной силы почвы, а также отсутствие особых требований, касающихся предурожая. Можно сеять её после каждого растения. К хорошим предурожаям зачисляются растения из семейства мотыльковых (люцерна, клевер, горох, горошек, кормовой горох), а также корнеплоды. Не существуют противопоказания к многолетнему выращиванию конопли в постоянной системе (не дольше чем 3 года).

1.7 Подведение итогов

Земледелие на территории Восточной Польши, по разным причинам становится все менее рентабельным: слабо развит сектор услуг в пользу земледелия и деревни, выступает очень большое расслоение хозяйств, преобладают почвы, класс которых намного слабее и т.п. За последние годы происходят изменения, направленные на образование больших и более производительных хозяйств, что должно улучшить их финансовые возможности. В XXI в., конопля переживает ренессанс, указывая на свое всестороннее применение и неограниченный потенциал использования. В Европе и в Польше, во время кризиса, наступил рост интереса к выращиванию и переработке конопли. Образовались новые компании, которые начали свою деятельность

в области контрактации и образования баз по переработке. Сегодня, на всей территории Евросоюза, к выращиванию допущено 14 видов конопли, с очень низким уровнем тетрагидроканнабинола, менее чем 0,2%, из которых нельзя получить одурительные вещества, называемые каннабиноиды. В 2008 г. зафиксировано свыше 1400 га конопли, а Институт природных волокон и лекарственных растений в Познани, заключил договоры контрактации с 40 плантаторами (между прочим, в Люблинском воеводстве) – в общем, семенные плантации основали на поверхности 240 га. Возвращение к выращиванию конопли, это шанс для польского земледелия, особенно для территорий, в традицию которых были вписаны эти культуры, напр. для Люблинского воеводства. Выращивая эти растения, у земледельцев есть возможность заполнить некую нишу, вытекающую из факта, что их выращивание в Европе очень ограничено. Выращивание не будет никакой конкуренцией для земледелия на территории Евросоюза. Слабо развитый сектор услуг, связанный с земледелием и деревней, очень большое расслоение хозяйств, преобладание почв слабого класса, негативные последствия климатических изменений — все это оказывает влияние на то, что земледелие на территории Восточной Польши, становится все чаще нерентабельным. Земледельцы, выращивая коноплю, могут улучшить свое экономическое положение [5].

Библиография

- [1] Allin S.: Building with hemp, Seed Press, 2012.
- [2] Bevan R., Woolley T.: Hemp Lime Construction: A Guide to Building with Hemp Lime Composites, Bracknell, 2010.
- [3] Bocsa I., Karus M.: Der Hanfanbau, C.F. Muller, Heidelberg, 1997.
- [4] Dempsey J.M.: Fiber crops. Hemp, University of Florida, Gainesville, 1975.
- [5] Fic S., Brzyski P., Jarosz-Hadam M.: Możliwości wykorzystania odpadów lnianych i konopnych do szerokiego zastosowania w budownictwie, [W]: S. Kondracki, K. Zarzecka, Współczesne dylematy polskiego rolnictwa Cz. II, Wyd. PSW im. JP II, Biała Podlaska, 2015, s. 128-137.

- [6] Grabowska L.: Perspektywy uprawy konopi przemysłowych w Polsce, W: Rola infrastruktury i techniki w zrównoważonym rozwoju rolnictwa, IB-MiER, Warszawa, 2005.
- [7] Grabowska L., Koziara W.: Wpływ temperatury i opadów na plonowanie konopi włóknistych odm. Białobrzeskie. Natural Fibres vol. XXXXV, Poznań, 2001.
- [8] Grabowska L., Koziara W.: The effect of Nitrogen Dose, Swing Density and Time of Harvest on Development and Yields of Hemp Cultivar Białobrzeskie, Journal of Natural Fibres, vol. 2, nr 4, Haworth Press, 2005.
- [9] Grabowska L., Kołodziej J., Burczyk H.: Zastosowanie energetyczne konopi włóknistych, Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 2007, s. 19-25.
- [10] Jaranowska B.: Konopie jednopienne, Wyd. PWRiL, Warszawa, 1962.
- [11] Jaranowska B.: Wpływ wzrastających dawek azotu i gęstości siewu na plony konopi jedno- i dwupiennych, Pr. IPWL, Poznań, 1966, t. 13, s. 21-37.
- [12] Ożarowski A., Roszkowski J.: Rośliny lecznicze i ich praktyczne zastosowanie, Instytut Wyd. Związków Zawodowych, 1987, s. 225-227.
- [13] Termagroep Regionale Ontwikkeling: Andere Gewassen in de veenkoloniale akkerbouw – mogelijkheden voor bouwplanverruiming, Wageningen, 1982.
- [14] www.coboru.pl
- [15] www.stat.gov.pl

Количество символов с пробелами: 29 490

РАЗДЕЛ II

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ИТОГОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ НА БАЗЕ КОНОПЛИ И ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА, СДЕЛАННЫХ В РАМКАХ ПРОЕКТА

2.1 Введение

С концепцией устойчивого развития сильно связано строительство, так как оно оказывает большое влияние на окружающую среду:

- в строительстве употребляется свыше 40% мировой продукции энергии
- из строительства происходит около 35% мировой эмиссии тепличных газов
- на строительную деятельность предназначается 50% массы перерабатываемых материалов.

Технологические решения, а также основные принципы по охране окружающей среды, касающиеся экологических зданий это: максимальное использование дневного света для освещения помещений, применение региональных материалов, использование утилизированных материалов – возможность вторичного использования примененных материалов, снижение к минимуму воздействия на окружение, использование природных ресурсов, ограничение использования строительных материалов, понижающих истребление природных ресурсов земли, снижение потребления энергии, во время возведения здания и его эксплуатации снижение к минимуму потери теплоты, напр. используя современные технологии и материалы.

Норма PN-EN 15643 определяет технические, экологические, социальные и функциональные требования, касающиеся зданий. На основании нормы можно делать оценку сооружений с точки зрения устойчивого строительства.

Суть экологического строительства заключается в гармонии с окружением. Воздействие здания на окружающую среду должно быть минимальным, и это здание должно быть построено из экологически чистых материалов, которые легко утилизировать, монтаж которых и производство не требуют большого истребления энергии. Отходы, производимые как во время строения, так и эксплуатации здания, не могут загрязнять воды, почвы ни воздуха. Это серьезный аспект, которому уделяется особое внимание.

Экологическое строительство является направлением все более развивающимся на польском строительном рынке. Это связано, между прочим, с возрастающим сознанием общества по отношению к окружающей среде. Экологическое строительство это наименьшая ингеренция в окружающую среду, а также, что важнее всего, улучшение условий нашей жизни по отношению к зданиям, а также освоения данной территории.

Основные цели, поставленные Евросоюзом в связи с энерго-климатическим пакетом это: рост на 20% участия энергии, происходящей из возобновляемых источников, редукция эмиссии парниковых газов, рост энергетической эффективности. Достижение этих целей должно наступить до 2020 года, однако предусматривается редукцию парниковых газов даже до 30% в то же самое время. В Польше, в зданиях используется около 40% энергии, из чего около 70% на отопление. Редукцию эмиссии CO₂ в здании можно получить, применяя много инновационных технологий. Дом, построенный из экологически чистых материалов и подвергающийся эксплуатации при их использовании, обладая экологическими технологическими решениями, свободен от эмиссии CO₂, а также дружелюбен к окружающей среде. Экологическое направление в строительстве предусматривает использование материалов, отличающихся стойкостью, низкой вредительностью для

здоровья, часто возможностью вторичного использования, а также энергосберегабельностью.

Методом исследования здания является LCA, т.е. Life Cycle Assessment – экологическая оценка цикла жизни материала. Анализ цикла жизни строительного материала состоит в определении максимального времени использования продукта, а также элиминации изделий, неквалифицирующихся ко вторичной переработке и влияющих отрицательно на окружающую среду и здоровье человека. Действием в пользу сохранения энергии является производство продуктов, характеризующихся долгим сроком использования (долгим циклом жизни), а также производство продуктов не влияющих отрицательно на микро- и макроклимат интерьера здания, окружающую среду, а также на здоровье человека.

Наиболее популярные и чаще всего используемые экологически чистые материалы, применяемые в строительстве это:

- стекло

Стекло не горит и коррозионностойкое. Его производство не требует больших затрат энергии. Его можно облагораживать, в итоге чего получается напр. пенковое стекло, которое применяется в качестве термической и акустической изоляции. Это материал дающий возможность бесконечной переработки. Применяется для утепления стен и перекрытий, а после соответствующего загущения, дает возможность отказа от водостойкой изоляции.

- древесина

Высокую стойкость и огнестойкость дает ей соответствующее обеспечение и обработка. Небольшие деревянные отходы просты в утилизации. Древесина дает также значительные возможности в случае вторичного использования. Большие деревянные брусы можно заново использовать целиком, либо как мелкие элементы. Древесина является хорошей акустической изоляцией, а также применяется при завершении работ фасада, но и при конструциях скелета зданий. Помогает также сохранять оптимальную влажность в помещениях.

Древесина обеспечивает естественную терморегуляцию. Это приводит к тому, что летом в помещениях холодно, а зимой они теплы и уютны. Древесина является естественным материалом, который характеризуется тем, что во время процесса производства строительного материала, эмиссия CO_2 меньше, чем переработка этого газа в фазе роста дерева.

- кирпич

Это безопасный материал для здоровья и целиком натуральный. Важным является то, чтобы кирпич был сделан с участием традиционных методов обжигания, а также сырья высокого качества, чтобы в составе глины не было пепеля, а древесные опилки. Кирпич характеризуется высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям, низким уровнем естественной радиоактивности, а также высокой тепловой и акустической изолированностью. Большим преимуществом кирпича является также возможность использовать его заново. Наиболее дорогим и трудоемким процессом является очистка кирпича из кладочного раствора. Кирпич, оставшийся после сноса домов, применяют, в основном, для фасада дома, но также для внутренних аккумуляционных стен.

- глина

Существует много технологических решений, в которых основным материалом является глина. Одним из них являются блоки из глины, которые после высыхания служат заполнителем стен в деревянном скелете. Для постройки стен можно применить утрамбованную глину или готовую продукцию, как напр. глиняный кирпич. Из глины и цемента делают черепицы. Этот материал используется для производства штукатурки и глиняных красок. Производство кирпича требует относительно немного энергии, по сравнению с другими технологиями, что значительно снижает затраты. Глиняные стены очень хорошо аккумулируют тепло. Стены, сделанные из глины характеризуются долговечной стойкостью, хорошей термической и акустической изоляцией.

- солома

Эти материалы применяются, в основном, для постройки стен. Стены делают из деревянного шеста и с прессованных

блоков соломы, которые соединяют со свежей глиной. Стены покрываются специальной штукатуркой, в состав которой входит, между прочим, глина. Солома полностью является здоровым и натуральным материалом. Пресованная – характеризуется очень хорошей тепловой изоляционностью. Низкая стоимость сырья, а также быстрота строения, являются несомненно, большими преимуществами этой технологии. После сноса дома, солома вполне подвергается вторичной переработке.

Стены здания, сделанного из глины и соломы, создают здоровый и приятный климат в помещении. Дома из бревен, в состав которых входит глина и солома, стойкие, негорючие, а строение и эксплуатация снижает к минимуму эмиссию CO_2 и энергоистребление. Эти здания не только несложны и быстры в постройке, но также относительно дешевые, по сравнению к иным строительным технологиям.

- утепление из газет и тряпок

Для производства изоляционного материала, каким являются целлюлозные волокна, используют газетную бумагу высокого качества с добавкой борных солей – с целью хранить деревянные конструкции от развития грибов и плесени, а также обеспечивать самый материал от биodeградации. Благодаря этому, в доме царствует благоприятный микроклимат и нет необходимости использовать пароизоляционную пленку. Для производства утепления здания из целлюлозных волокон, применяется 80% сырья из рециклинга, а процесс производства не является энергоистребительным. Целлюлозные изоляции не содержат никаких вредных веществ, а пропитка соединениями бора, позволяет приобретать огнестойкие и антигрибковые свойства. Такие изоляции отлично хранят от воздушного шума, а также заглушают шум. Они применяются как термическая изоляция чердаков, потолков и полов.

- искусственные материалы, как сырье для вторичной переработки

Смеленные упаковки, склеенные специальным вяжущим материалом, а затем спрессованные в плиту – это изоляция из переработанных пластмассовых бутылок PET. Этот

материал применяется не только как термоизоляция, но также как панельное домостроение или дренажные панели. Свойства материала сближенные со свойствами пенопласта – однако его стойкость значительно выше.

Другие примеры применения искусственных материалов как сырья вторичной переработки это, между прочим: ковры, сделанные из переработанного старого ковра, покрытия паркетных полов из гранулата шин из рециклинга, оконные рамы из рециклинга ПВХ, водосточные желобы, газонные решетки, спусковые трубы, созданные на базе материалов переработанных.

- промышленная конопля

Солома из конопли в 25-30% состоит из волокна, которое содержит свыше 70% целлюлозы. В итоге механической переработки из сырой соломы, получается «зеленцевое» волокно, которое применяется как наполнитель для проводов, изоляционный материал, для обойных продуктов и циновок. Зато из костры создаются строительные плиты. Конопляное масло применяется к производству красок и лаков, так как оно обладает быстросохнущими свойствами и оставляет на поверхности эластичный тонкий слой. Коноплю можно применять как изоляционный материал для стен, полов, крыш и перекрытий. Изоляционные циновки сделанные из конопли, обеспечивают не только хорошую термоизоляцию, но также акустику. Они также полностью свободны от вредных веществ. Обладают также свойствами, позволяющими регулировать влажность, благодаря чему в помещениях царствует приятный и здоровый микроклимат. Коноплю используют также в производстве *Hempcrete* – кирпича из извести и конопли. Эти продукты огнестойкие, обладают также водостойкими свойствами. Конопля не пропускает тепла, но является проницаемым материалом, так что не блокирует доступ воздуха, не гниет и в 100% подвергается биodeградации. Она применяется как изоляционный материал – для укладки крыш, полов, а также стройки стен.

- лен

Лен, в основном состоит из целлюлозы и поэтому льняные изделия характеризуются устойчивостью к многим вредным

факторам, между прочим плесени и гниению. Из костры льна делают плиты и деревопроизводные материалы. Зато семена льна применяются к производству красок и масла. Однако лен имеет свое основное применение в строительной промышленности в качестве плит или циновок тепловой изоляции. Они создаются путём обработки коротких, льняных волокон, соединенных искусственными материалами либо также клейким веществом, напр. крахмалом из картофеля. Льняные изоляции обладают свойствами, регулирующими влажность и способностью улучшать микроклимат интерьеров. Их основными преимуществами являются: минимальный ввод энергии во время процесса производства и экономность сырья. Льняные плиты звукозащитные, эластичные и легкие в обработке, не меняют своей формы, а также обладают очень хорошей тепловой изоляционностью, не содержат синтетических волокон и веществ. Льняную плиту используется для изоляции полов, крыш, стен, а также легких перегородок. Они пригодны для изоляции в деревянном строительстве.

Оценкой качества материала, как и целого здания, по его уравновешенным свойствам занимаются учреждения и общества, распространяющие экологическое строительство и сертификационные системы.

Наиболее известные системы сертификации это:

- LEED – Leadership in Energy and Environmental Design – сводится к балльной системе оценки приспособления свойств использованных материалов, а также всего здания по отношению к поставленным устойчивым строительством, требованиям во многих аспектах, напр. транспорта, рециклинга и т.п.

- BREEAM – BRE Environmental Assessment Method – применяя разнообразные критерии, такие как: загрязнение окружающей среды, материалы, транспорт, качество внешней среды, потребление воды и энергии, делается оценка общего влияния строительства на окружающую среду.

- DGNB Certification System – опирается на оценку по разным критериям в области шести секторов, таких как: экономическое качество, экологическое качество, техническое качество, социальное качество, качество процесса и локализации.

- Green Star – оценивает влияние зданий на окружающую среду в 9-ти категориях.

- CASBEE – Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency – сводится к измерению соотношения между экологическим качеством объекта, напр. термический комфорт и нагрузкой на окружающую среду напр. глобальное потепление, энергетическая эффективность.

- GBP EU Green Buildings – охватывает аспект энергосберегаемости зданий, а её целью является ограничение производства CO₂, а также энергоистребления (высокий уровень энергосбережения: потребление энергии на 25% меньше, чем определяют государственные нормы).

Системы оценки можно определить как попытку приблизить некие факторы и следовать указаниям, чтобы получить инструмент, соответствующий строительному сектору.

Согласно указу Европарламента от 19-ого мая 2010 г., до конца декабря 2020 года, все новые здания должны быть зданиями лишеными энергетики почти до нуля. В связи с этим, необходимым является постепенный рост обострения требований, а также постепенная классификация зданий по количеству энергоистребления. При сохранении комфорта пользователя, но и экономической эффективности, следует стремиться к понижению стоимости отопления здания, а также повышению его энергосберегаемости.

Потребность понижать к минимуму все возрастающие издержки, привела к созданию технологии, которая дала бы возможность понизить сумму счетов и затрат, связанных с удержанием здания. Технологические решения дружественные к окружающей среде имеют так достоинства, как и недостатки.

К достоинствам энергосберегаемых зданий зачисляются:

- понижение к минимуму отрицательного влияния на окружающую среду – применение возобновляемых источников энергии
- высшая стоимость экологических недвижимостей на рынке, а тем самым, возможность получить прибыль при продаже дома

- высокий комфорт пребывания внутри при условии правильной локализации по отношению к сторонам света
- минимализация или полная ликвидация потерь тепла
- очень низкая стоимость отопления, а также эксплуатация здания
- редукция к минимуму затрат на использование дома с правильно подобранным отоплением и правильным утеплением дома

Недостатки энергосберегательных зданий это, между прочим:

- высшая стоимость строения энергосберегательного дома, чем дома, построенного в традиционной технологии
- высокая стоимость дополнительных энергосберегательных установок
- высокая цена индивидуального проекта здания
- несложная форма здания необязательно соответствующая вкусам инвесторов, предпочитающим эркеры, стенные углубления, террасы или декоративные отделки
- высокое качество материалов приводит к повышению их цен
- точные измерения, которые генерируют дополнительные расходы, связанные с трудоустройством специализированной группы профессионалов.

Понятие экологичность в строительстве все время сосредоточивается, в основном, на использовании возобновляемых источников энергии и получении соответствующей энергетической эффективности здания. Забывается о том, что здания, построенные из материалов «высокой энергии», которых процессы производства, отличаются необыкновенной токсичностью для окружающей среды. Углубляясь в тему экологического строительства, можно заметить много альтернатив для стандартных конструкционных и материаловых решений, дружественных к окружающей среде, разнообразных в употреблении, а также доступных по хорошим ценам.

Исследования композитов сделанных из конопли, являются частью политики устойчивого развития в области строительства. С целью понижения связанной с этим эмиссии парниковых газов и их влияния на климат, необходимым считается, чтобы избрать строительные материалы с наиболее низким уровнем эмиссии парниковых газов. По этому поводу в последние годы, очень широко исследовались натуральные волокна, которые могут применяться в качестве альтернативы углеродным волокнам, стеклу, древесине или искусственному материалу, во многих аспектах применения в строительстве [1].

Одним из таких материалов является конопля (которая была применена как материал, заполняющий композит) во все большей степени применяемая тоже в строительных перегородках. Конопля все чаще применяется с известковым вяжущем в конструкции стен [2]. Конопля – это быстро развивающееся однолетнее растение, выращиваемое при использовании разных методов. Стебли конопли известны как *hurds* или *shives*, считались натуральными отходами. Оказалось однако, что могут они применяться в производстве экологического строительного материала. Другие растения, применяемые в строительстве это мискантус, лен, хлопок, джут, а также быстро растущие деревья, такие как ива. Путем смешения связывающего вещества на базе извести с кострами из конопли – *shives*, создается вид легкого бетона, который теперь употребляется в строительстве экологических и энергосберегательных объектов. Пропорции конопли и извести можно модифицировать в зависимости от желаемых свойств продукта. При их смешении с небольшим количеством воды получается клейкое вещество, применяемое для изоляции стен, полов и крыш. Смесь извести и конопли, выливаемая в опалубках или в виде блоков и плит, может применяться тоже как конструкционный материал. Все больше распространены в применении крышечные или потолочные плиты. После сушки этот материал образует стойкий и крепкий композит, обеспечивающий водостойкую тепловую изоляцию. Поверхность стен может иметь разную

отделку в зависимости от потребностей. При строительстве стен обычно применяется деревянный скелет, который потом заполняется блоками или массой композита с коноплей. Конструкции эти могут подвергнуться неким изменениям в зависимости от желаемой толщины стены, вида внешней обкладки или употребления иных материалов.

Известь является материалом широко применяемым в строительстве и производится путем подогрева углекислой извести в печи в температуре около 900°C. Конструкции из конопли и извести применяются во Франции с 1990 года [1,3], но нераспространены в Польше.

Конструкция и постройка зданий из конопли были тщательно исследованы Bevan и Woolley [3]. Их исследования указали ряд польз, в том числе: исключительно высокий уровень плотности, достигнутый монолитическими стенными конструкциями; улучшение качества воздуха в связи с гигроскопическими свойствами стены; снижение потребления тепловой энергии конопляно-известковых стен. Конопля обычно применяется как материал для изоляции стен или слоев изоляции полов и крыш.

Учитывая хорошие механические свойства волокон, с недавнего времени замечено в научной литературе рост интереса к натуральным волокнам с целью их использования в строительстве. Многие исследователи занимаются особенно исследованием их термоизоляционных свойств. Материалы, которые были чаще всего исследованы это, между прочим: джут [4], феллоген [5], кукурузные початки [6], сено [7], сахарный тростник [7], минеральная вата и древесная вата [8], целлюлоз [9], лен [10,11], солома в рулонах [12] и конопля [3,10,11,13]. В основной состав стенок волокон конопли входят: целлюлоз, гемицеллюлоз, лигнин и обыкновенные пектины [14].

Актуально зафиксированные виды волоконной конопли в Польше и странах Европейского Союза это: *Białobrzegie*, *Benico*, *Silesia*, *Tygra*, выращенные в Институте природных волокон и лекарственных растений в Познани, занимающимся комплексными исследованиями в области получения и переработки натурального волоконного, а также

травянистого сырья. Эти сорта характеризуются высокой экономической ценностью. Не несут они наркотической угрозы, согласно требованиям Указа о противодействии наркомании, и содержат меньше, чем 0.2% тетрагидроканнабиноидов.

Исследования, описанные в настоящем рапорте, указывают на возможность использовать коноплю в строении стен из конопли и извести.

2.2 Экспериментальная процедура

Рецептура смесей и процесс производства проб

Для анализа спроектировано шесть рецептов смесей. В лаборатории сделано смеси, состоящие из извести, конопли, перлита, портландцемента, воды, метакеолина, этиленвинилацетата в качестве пластификатор-укрепляющей примеси в количестве 1% по отношению к массе вяжущего вещества.

Сокращенные названия композитов, применяемых в исследовательских экспериментах и пропорции их дозирования представлено в Таблице 2.1. Параметрами наиболее существенными в этом случае кажутся быть отношения: конопля к вяжущему веществу, т.е. цемент + известь + метакеолин, в условном сокращении - $K/(C + W_p + M)$, а также перлита к вяжущему веществу, т.е. цемент + известь + метакеолин $P/(C + W_p + M)$, параметры которых указаны в Таблице 2.1.

Таблица 2.1. Рецептуры композитов из извести и конопли

Материал	Символ, единица	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Известь	W_p [кг/м³]	106.38	139.21	147.37	153.17	176.77	189.70
Конопляные костры	K [кг/м³]	85.11	92.81	84.21	87.53	75.76	54.20
Перлит	P [кг/м³]	42.55	46.40	63.16	65.64	101.01	135.50
Вода	W [л/м³]	212.98	371.22	421.06	437.64	505.06	542.00
Цемент	C [кг/м³]	21.28	32.48	48.42	50.33	58.08	62.33
Метакеолин	M [кг/м³]	10.64	13.92	14.74	15.32	17.68	18.97

Этиленвинилацетат	$E_{\text{вс}}$ [кг/м³]	-	-	-	2.19	-	-
$W/(C + W_p + M)$ *	[%]	1.54	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
$K/(C + W_p + M)$ **	[%]	60	50	40	40	30	20
$P/(C + W_p + M)$ ***	[%]	30	25	30	30	40	50

* $W/(C + W_p + M)$ = Вода / (Цемент + Известь + Метакаолин) по отношению к весу,

** $K/(C + W_p + M)$ = Конопляные костры / (Цемент + Известь + Метакаолин) по отношению к весу,

*** $P/(C + W_p + M)$ = Перлит / (Цемент + Известь + Метакаолин) по отношению к весу.

Промышленная конопля происходит из Института природных волокон и лекарственных растений в Познани. Костры характеризуются очень низкой объемной плотностью (100-104 кг/м³), в связи с их сильно пористой структурой. Кроме того, волокно имеет высокую возможность абсорбции воды: до 410% собственной массы, после истечения 48 часов погружения.

В научном труде Stikute и др. [15], проведено гранулометрический анализ костры сорта Białobrzeska в трех измерениях (длина, ширина, толщина), при употреблении штангенинструмента с точностью до 0.02 мм. Исследования показывают, что толщина конопля составляет 1.8-7 мм (макс. 1.8-3.1 мм), длина 15-56 мм (макс. 15-25 мм), а ширина 2.8-8 мм (макс. 4.1 мм).

Применённая в собственных исследованиях конопля отличалась длиной от описанных в вышеуказанном труде [15], которая составляла 15-150 мм. Эти параметры зависят от сорта конопля, земледельной технологии, почвы и климатических условий.

В композитах с известью отказались от классического песка, который заменили вспученным перлитом ЕР180 класса II грануляцией 0-4 мм. Содержание перлита состояло от 25 до 50% по отношению к количеству вяжущего вещества (C + W_p + M). Сопротивление сжатию перлита составляет 0.14-0.40 МПа, объемная плотность 60-80 кг/м³, а коэффициент теплопроводности 0.042 м²/с. Перлит приводит к существенным изменениям физических параметров и реологических свойств изделий. Увеличение объема перлита за счет песка приводит к понижению

параметров сопротивляемости. Взамен исправляется: термоизоляционность, огнестойкость, легкость изделий, устойчивость к капиллярности, степень снижения шума.

Как вяжущее вещество применено смесь гидратированной извести, портцемента и метакеолина.

Химически гидратированная известь это оксид кальция (гашеная известь). Химическая формула сухогашенной извести это $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Эту известь принято называть гидратом. Конечный продукт образуется в эффекте «гашения» водой негашеной извести, а потом поддачи её процессу разделения. Это позволяет получить продукт высокого качества, выполняющего установленные нормы PN-EN 459-1:2003. Гидратированная известь характеризовалась уровнем плотности 390-410 кг/м³. Химический состав извести следующий: CaO – 95.5%, MgO – 0.5%, CO_2 – 2.1%, SO_3 – 0.1%, вода – 1.5%.

Другим дополнительным элементом вяжущего вещества был портландцемент CEM I 42.5R высокой ранней прочности. Он обладает такими свойствами как высокое тепло гидратации, высокая ранняя прочность, а также быстрый прирост прочности. Благодаря этому годится не только к производству полуфабрикатов, но также к подготовке бетона BWW, газобетона и других. Портландцемент CEM I 42.5R обладал следующими техническими параметрами: удельная поверхность 3985 см²/г, начало процесса вязания бетона 190 мин., конец процесса вязания 250 мин., сопротивление сжатию после 2-х дней – 30.4 МПа, сопротивление сгибанию после 2-х дней – 5.41 МПа, потребление воды 28%, потери при прокаливании 3.44% мас. Исследования портландцемента CEM I 42.5R проведено согласно польским нормам PN-EN 197-1:2002 и PN-B-19707:2003.

Метакеолин добавляли в количестве 0.1% мас. извести формулой: Al_2O_3 – 40-42%, SiO_2 – 51-53%, K_2O и Na_2O – 1.3-1.5%, соединения Fe, Ti, Mg – 1.3-1.5%. Метакеолин – это натуральная, мелкозернистая заполняющая добавка для бетона, а также бетонных строительных материалов. Он является компонентом повышения обрабатываемости,

тиксотропность и постоянную консистенцию проектированной смеси. Основным элементом добавляемым к смеси является метакраолин – высокореактивная пуццолановая добавка, которая получается в эффекте кальцинирования краолина. Метакраолин содержит активные формы окисей алюминия и кремния, которые реагируют со свободным гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образуются продукты – освобожденные алюминаты, силикаты и алюмосиликаты кальция, по составу и структуре сближенные к продуктам гидратации портландцемента. Метакраолин причиняется к получению высокой ранней прочности и густой матрицы, а также обеспечивает специальную реактивность. Возрастает также водопотребность без потери прочностных параметров. Раствор с этой добавкой более обрабатываемый и лучше формируется.

Потому что основным фактором, ограничивающим применение дисперсных порошков и иных химических добавок, является высокая стоимость этих материалов, в качестве пластификатор-укрепляющей примеси применено этиленвинилацетат в одном типе композитов. Добавок сополимера исправляет много свойств употребления растворов и бетонов, улучшает обрабатываемость раствора, облегчает применение и обработку, увеличивает ретенцию воды в растворе и уменьшает скорость ее испарения, улучшает стойкость к истиранию, значительно исправляет липкость ко всем строительным поверхностям, исправляет эластичность раствора. К исследованиям применено особый вид редиспергируемого порошка, содержащего гидрофобную добавку, которая позволила на производство композитов большей стойкости к воздействию воды и мороза. Добавка полимера выгодным образом образует много свойств цементно-полимерных растворов, образует тонкие слои, покрывающие зерна гидратируемого цемента, приводя к уменьшению скорости гидратации цемента. Это касается особенно образования кристаллических продуктов гидратации портландита и эттрингита. Несмотря на замедление скорости гидратации цемента, прочность растворов с добавкой полимера является на каждом этапе созревания выше, чем в случае растворов немодифицированных полимерами.

Экспериментально установлено оптимальный показатель $W/(C + W_p + M)$ на уровне 2.0. Это соотношение в первой смеси K1 принято на уровне 1.54, однако, учитывая слабую обрабатываемость, этот показатель повышено до 2.0 и 2.5. При уровне $W/(C + W_p + M) = 2.5$ происходило разделение составных элементов в формах, в связи с этим, для дальнейших исследований принято показатель равный 2.0.

Метод смешивания, а также порядок дозирования последовательных составных элементов смеси не является точно определённым в литературе. В научных публикациях можно найти описанные по-разному способы приготовления смеси. Возможна предварительная мочка конопли, а потом ее добавление к вяжущему веществу или наоборот, добавление сухих костр к жидкому, смешанному вяжущему веществу.

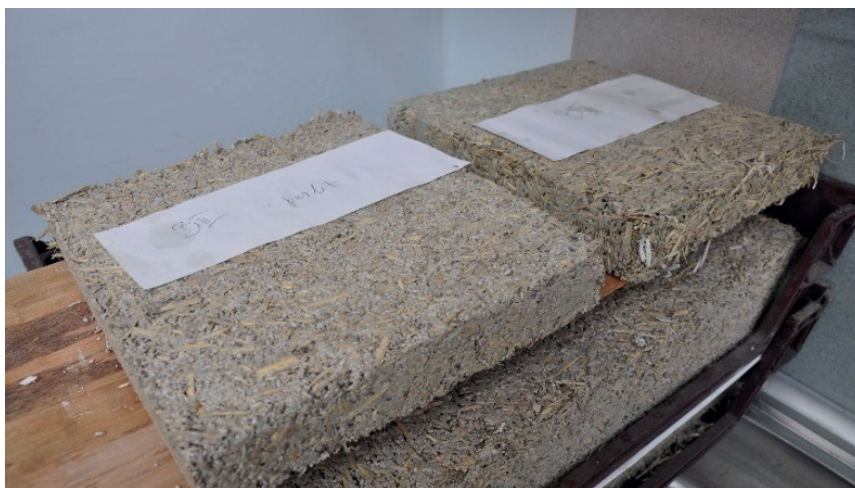


Рис. 2.1. Пробы для исследований коэффициента теплопроводности

В настоящих исследованиях приготовление проб заключалось в смешивании материалов вяжущих воду, а потом постепенном добавлении жидкого вяжущего вещества к заранее смешанным составным элементам заполняющего вещества, в процессе постоянного смешивания. Процесс смешивания длился до того момента, пока конопляные костры и другие заполняющие вещества окружились закваской,

а смесь приобрела однородную консистенцию. Потом началось формирование образцов. В связи с наличием и формой легкого заполняющего вещества, уплотнение смеси под влиянием силы тяжести является невозможным. Образцы, в связи с этим, загущались ручным способом путем взбивания их деревянной трамбовкой диаметром мм. 30. После укладки смеси в трамбовкой ее дополнительно загущали на вибрационном столе. Кубические пробы, а также пробы в виде параллелепипеда в одном слое, зато цилиндрические пробы в двух слоях. В течение 3 дней пробы созревали обеспечены от потери воды, в специальных формах.



Рис. 2.2. Пробы для исследований сопротивления сгибанию

Композит после расформирования не был отвердевшим, но пластическим. Причиной является наличие воздушного вяжущего вещества, а также высокое содержание воды в композите. Образцы созревали в воздушно-сухих условиях в температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности $60 \pm 5\%$ через 25 дней, до момента завершения исследований (Рис. 2.5).



Рис. 2.3. Пробы для исследований по водопоглощению, а также сопротивляемости сжатию

2.3 Свойства композитов

Объёмная плотность и водопоглощение

Исследование объёмной плотности композитов сделано согласно норме EN 12390-7:2001 *Исследования бетона Часть 7 Плотность бетона*. К исследованиям применено 10 кубических образцов из каждой серии, размерами 150 x 150 x 150 мм. Образцы извешеного объема были высушены до постоянной массы, а также взвешено их на лабораторных весах, вычисляя объёмную плотность, часто называемую насыпной плотностью. Она выражается соотношением массы образца к ее объему. Объёмную плотность композита определено при помощи гидростатических весов.

Проведение действий:

- взвешивание образцов на аналитических весах, записание их массы в сухом состоянии с точностью до 0.1% их массы $m_d(\text{kg})$,
- измерение поверхностей образцов с точностью размеров 0.5% – по 3 измерения на каждого из поверхностей,
- вычисление объема каждого из образцов $V(\text{m}^3)$,
- определение объёмной плотности по формуле:

$$\rho_b = \frac{m_d}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

Случайное расположение конопляных костр, а также загущение, точно не определенной силой, ручным способом, приводили к образованию в материале т.н. макропор (свободных мест между кострами), размещенных нерегулярно. Способ укладки смеси, а также сила загущения оказывают выразительное влияние на объёмную плотность затвердевшего композита.

Исследование водопоглощения проведено согласно норме PN-88/B-06250 *Обыкновенный бетон* на десяти кубических образцах размером 150 x 150 x 150 мм из каждой серии. Исследование сводится к контролю прироста массы образцов, пропитанных водой, до того момента, как они вполне пропитаются. Образцы были вполне погружены в воду. В связи с низкой объёмной плотностью композитов, а также силой плавучести воды, необходимым было добавление нагрузки к образцам.

Период полного пропитываться образцов водой продолжался, в зависимости от рецептуры, около 7 дней. Стоит подчеркнуть, что высокая пористость, а также абсорбция использованных заполнителей, причинилась к росту водопоглощения даже на 60% уже в течение 5 первых секунд после погружения образцов в воду.

Коэффициент теплопроводности

С целью определить коэффициент теплопроводности, применено панельной камеры. Для этого приготовлено 10 плиток из каждого типа композита (Рис. 2.1). Размеры каждой плитки были следующие: 300 x 300 x 50 мм. Исследования проведено на образцах, с одержанием влаги 3%, что было получено путем хранения материала в помещении с относительной влажностью ровной 70%, через 4 недели.

Были сделаны следующие действия:

- установка панельной камеры согласно инструкции,
- помещение исследуемого образца между нагревательными плитами панельной камеры,
- установка образца центрально по отношению к плитам и стенкам камеры,
- проведение калибровки плит, отмечение толщины образца, прочитанной камерой,
- начало правильного исследования коэффициента теплопроводности.

Исследование считалось завершенным, когда значение коэффициента теплопроводности λ (W/mK) стабилизировалось и не изменилось с точностью до 0.001. Вычислено тоже среднее значение коэффициента теплопроводности n образцов согласно формуле:

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{ (W/mK)}.$$

Стандартное отклонение и коэффициент вариации итогов вычислялись по формулам. Он не должен превышать превышать 10%.

$$s_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda)^2}{n-1}} \text{ (W/mK)}$$

$$\nu_{\lambda} = \frac{s_{\lambda}}{\lambda} 100 \text{ (\%)}.$$

При обозначении коэффициента теплопроводности композита, применено две температуры: 20°C на нагревательной плите и 0°C на охлаждающей плите. Средняя температура составляла 10°C. Принцип действия сводится к пропусканию через образец определенной струи тепла, а также измерению температур, которые образовались при установленном протекании тепла на поверхностях доведения и отведения тепла. Камера содействовала с компьютером и программой WinTherm 32v3, которая записывала итоги измерений.

Прочность при сжатии

Прочность при сжатии композитов проведено согласно норме PN-EN 12390-3 *Исследования бетона Часть 3 Прочность при сжатии образцов для исследования*. Для исследования применено 10 кубических образцов размером 100 x 100 x 100 мм, а также 150 x 150 x 150 мм для каждой рецептуры (Рис. 3). Обозначение прочности при сжатии сделано после достижения образцами среднего сопротивления сжатию после 28 дней. Исследование было проведено при помощи гидравлического прессы Controls диапазоном нагружения 0-100 кН, учитывая самый низкий допускаемый прирост сжимающей силы 50 Н/с.

Были сделаны следующие действия:

- измерение загружаемых поверхностей (нижняя и верхняя загружаемая поверхность) с точностью 0.5% измерений – по 3 измерения на каждой из поверхностей,
- вычисление средних значений из 6 измерений в каждом направлении на загруженных стенках согласно формулам, с точностью итогов до 0.5%:

$$x_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 x_i \text{ (mm)}, \quad y_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 y_i \text{ (mm)},$$

- вычисление среднего значения поля загружаемой стенки с округлением итога до 1% по формуле:

$$A_c = x_m y_m \text{ (mm}^2\text{)},$$

- очищение образцов от загрязнений (пыль, частицы композита), а также излишней влаги,
- очищение плит для прижимания прессы от загрязнений,
- помещение образца на нижней плите прессы таким образом, чтобы нагрузка прикладывалась в плоскости формирования образца,
- центрирование образца так, чтобы нагрузка прикладывалось к оси,
- включение гидравлического прессы и начало исследования.

Скорость сжимательной головки во время исследования составляла 5 мм/мин. Образцы подвергались нагрузке с постоянной скоростью 50 Н/с. Исследование велось до момента уничтожения образца в испытательной машине (Рис. 2.4). В итоге полученной величины разрушительной силы $F(N)$, а также площади разреза образца $A_c(mm^2)$, вычислено сопротивление сжатию $f_c(N/mm^2 = MPa)$ по формуле:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ (MPa)}.$$

Вычислено тоже среднее значение сопротивления прочности n образцов согласно формуле:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \text{ (MPa)}.$$

(a)



(b)



Рис. 2.4. Исследование сопротивления сжатию композитов из извести и конопли:
а) композит K1, б) композит K6

Стандартное отклонение и коэффициент вариации по формулам.

$$s_{fc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \text{ (MPa)}$$

$$\nu_{fc} = \frac{s_{fc}}{f_{cm}} 100 \text{ (\%)}.$$

Прочность при изгибе

Прочность при изгибе композитов проведено согласно норме PN-EN 12390-5 *Исследования бетона Часть 5 Сопротивление сгибанию проб для исследования*. Для исследования использовались 10 проб в виде параллелепипеда размером 100 x 100 x 500 мм для каждого типа композита (Рис. 2.2). Обозначение прочности при изгибе образцов сделано после 28 дней их созревания. Исследование было проведено при помощи испытательной машины Controls (Рис. 2.5). Образцы подверглись напряжению силой, помещенной центрально (3-точечный изгиб). Расстояние между стойками составляло 300 мм. Перед и во время исследования проведено аналогичные действия и измерения, как и во время исследования прочности при сжатии.



Рис. 2.5. Исследование прочности при изгибе

Исследование проведено до момента уничтожения образца в испытательной машине. На основании полученного значения разрушительной силы, а также поперечных размеров образца вычислено прочность при изгибе по формуле:

$$f_{cf} = \frac{3Fl}{2d_1 d_2^2} \text{ (МПа)}$$

где:

f_{cf} – прочность при изгибе

F – максимальная нагрузка при разрушении (N),

l – расстояние подпирющих роликов (mm),

d_1, d_2 – поперечные размеры образца (mm).

Вычислено тоже величину средней прочности на основании n образцов согласно формуле:

$$f_{cfm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cfi} \text{ (МПа)}.$$

Стандартное отклонение s_{fcf} и коэффициент вариации итогов ν_{fcf} вычислено по формулам.

$$s_{ii} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cfi} - f_{cfm})^2}{n-1}} \text{ (МПа)}$$

$$\nu_{fcf} = \frac{s_{fcf}}{f_{cfm}} 100 \text{ (\%)}$$

Динамический модуль упругости

Исследование динамического модуля упругости проведено на цилиндрах диаметром 150 мм и высотой 300 мм сохраняя указание, что в случае цилиндрических образцов длина, L должна быть по крайней мере два раза больше, чем диаметр образцов, d .



Рис. 2.6. Исследование динамического модуля упругости

Определение модуля упругости образцов проведено динамическим методом на основании измерений резонансных частотности при помощи измерителя частоты C311-R (Рис. 2.6). Исследование проведено при исходном напряжении около 1В на основании указаний ASTM C666 и ASTM C215. В тесте, акселерометр был установлен и подключен к системе сбора данных. В качестве источника импульса употреблено стальной шар диаметром 12 мм. Этим шаром ударяли в верхнюю поверхность цилиндрического образца. Акселерометр измерял проход ультразвуковой волны через образец, а данные получались при помощи компьютерной программы. В программе получились графическое представление амплитуды и частотность ультразвуковых волн. На основании графического представления амплитуды частотности прочитано самый высокий параметр, который указывал на резонансную частотность композита.

На основании общих рассуждений на тему расхождения ультразвуковых волн в твердых изотропных телах можно сделать вывод, что существует связь между их скоростью и плотностью, а также константами упругости центра. Отсюда динамический модуль упругости последовательных образцов вычислено по формуле:

$$E_{DM} = 4L^2n^2\rho \text{ (GPa)}$$

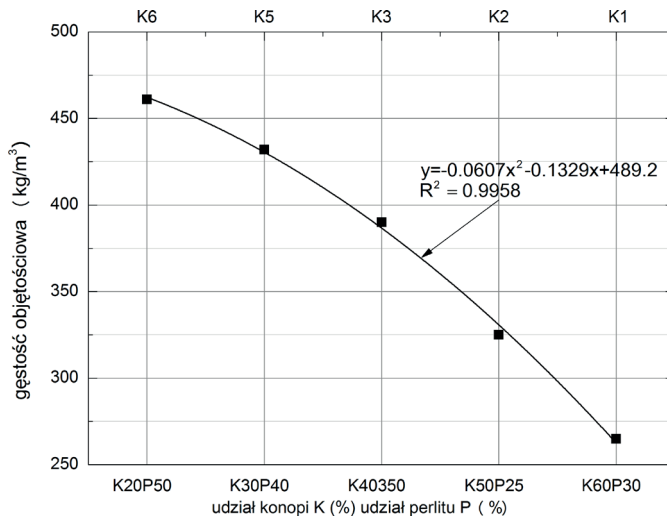
где: L – длина образца (m), n – частотность (kHz), ρ – объёмная плотность образца (kg/m^3).

2.4 Итоги и дискуссия

Физические свойства

Физические свойства исследованных композитов из извести и конопли презентирются на Рис. 2.9.

Итоги показывают, что количество конопляных волокон существенно влияет на рост водопоглощения, а также понижение плотности композитов (Рис. 2.9). Понижение плотности составляет от 7 до 42.4% и повышается соответственно вместе с количеством добавляемых конопляных волокон от 30 до 60%, по сравнению к образцами К6, которые имеют самое низкое содержание конопляных волокон равно 20%. На основании проведенных исследований можно сказать, что созданные композиты облабают плотностью от 265.8 до 461.2 кг/м³. Добавление волокон в количестве 60% привело к росту водопоглощения на 35%. Водопоглощение образцов очень высокое и колеблется от 98.5 до 150,5%.



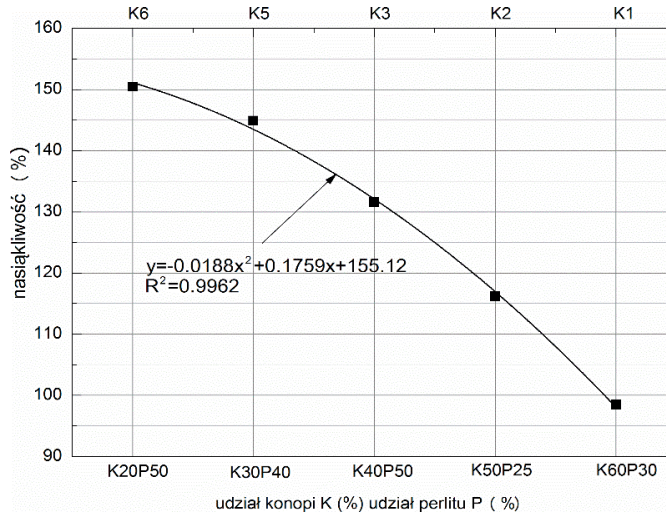


Рис. 2.7. Объёмная плотность и водопоглощение исследуемых композитов

Отмечено, что с увеличением роста водопоглощения и понижением плотности композитов наступает постепенное понижение теплопроводности от 0.111 до 0.094 В/мК (Рис. 2.10). Чтобы осуществить технические условия [16], каким должны соответствовать стены жилых зданий, относительно коэффициента теплопроводности $U = 0.25$ Вт/м² К, стена из композита K1, которая содержит самое высокое количество конопляных волокон (60%) и обладает самым низким коэффициентом теплопроводности λ , должна иметь толщину 0.37 м. Установлено, что аналогическая стена, состоящая из одного слоя, в энергосберегательном здании должна иметь толщину 0.47 м, зато в пассивном здании соответственно 0.63 м. В случае остальных композитов K3-K6, толщина стены должна составлять 0.44 м, 0.55 м и 0.73 м.

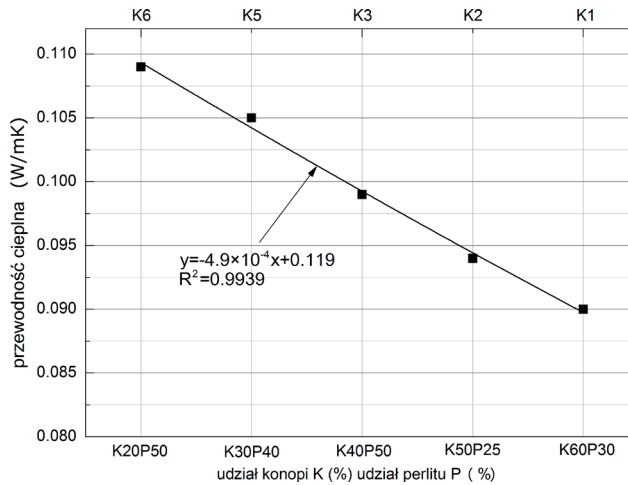


Рис. 2.8. Коэффициент теплопроводности

Исследования, описанные в труде [17] доказали, что независимо от состава материала итоги указывают, что конечный продукт обладал низкой объёмной плотностью ($300 < \rho < 600 \text{ кг/м}^3$) и высокой пористостью, превышающую 65%.

Доказано также, что теплопроводность в условиях окружающей среды в 23°C и 50% относительной влажности, колебалась от 0.07 до 0.20 Вт/мК [18], а потом от 0.069 до 0.115 Вт/мК [19].

В связи с низкой плотностью и высокой пористостью конопляных костр, комбинация конопли и крахмала образует строительный материал со свойствами, которые отличаются от обычного бетона или композитов с известью без натуральных волокон. Получился материал более низкой плотности и теплопроводности. По исследованиям, проведенным Li, Gascón i Mai [20], теплопроводность конопляных композитов составляла от 0.067 до 0.085 Вт/мК. Это значение значительно понижается в зависимости от пропорций конопляных костр.

Итоги, относящиеся к плотности и теплопроводности, полученных на основании собственных исследований, сопоставляются с итогами других исследователей. Тем не менее, итоги исследований, касающиеся водопоглощения намного выше, чем полученные в исследованиях [20] и колеблются от 6.30 до 25.81%, при 40% содержании конопляных костр.

Прочностные свойства

Прочностные свойства шести композитов из извести и конопли представлены на Рис. 2.11 и Рис. 2.12. Механические параметры зависят, прежде всего, от состава последовательных композитных смесей.

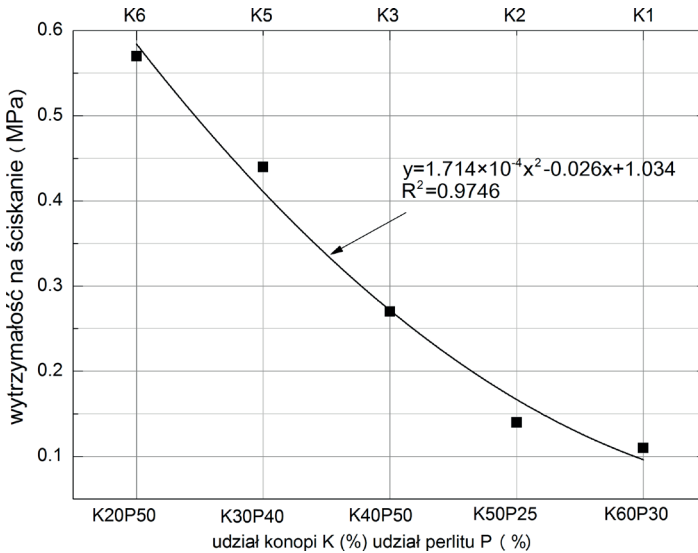


Рис. 2.9. Средняя прочность при сжатии после 28 дней

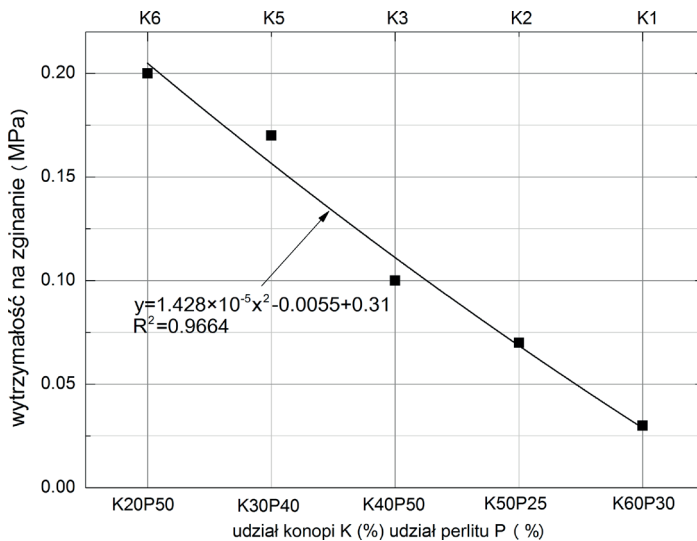


Рис. 2.10. Средняя прочность при изгибе после 28 дней

Замечено, что чем более высокие показатели $K/(C + W_p + M)$ и $P/(C + W_p + M)$ применяются, тем прочность при сжатии и при изгибе пропорционально понижалась. Чем меньшее содержание гидратированной извести и цемента, тем прочностные параметры ниже, а затем можно заметить отрицательное влияние добавления конопляных волокон на сопротивление композитов. Прочность при сжатии в 6,5 раза выше, прочность при изгибе почти 7 раз выше для композита (K6), который имеет самые низкие показатели $K/(C + W_p + M)$ и $P/(C + W_p + M)$ по отношению к композиту K1. Следует обратить внимание, что химическая укрепляющая добавка, т.е. этиленвинилацетат, примененная в композите K4 вызвала более чем двукратное увеличение прочностных параметров.

Прочность при сжатии композитов, сделанных из конопляных костр и крахмала [20] в пределах от 0.8 до 1.5 МПа, зависит от состава и плотности смеси бетона. Прочность при изгибе, полученная путем тестирования колебалась от 0.04 до 0.10 МПа. Однако, композиты, производимые из конопляных костр (40% объема), гидратированной извести, (24% объема), портландцемента (0; 2,5; 5% объема), цеолита (0; 2,5; 5% объема), MgO - цемента (0,29% объема), воды (31% объема), приобрели прочность при сжатии в пределах от 0.23-1.89 МПа. Самая высокая прочность определена в случае, когда количество MgO – цемента составляло 29% объема, без припенения портландцемента, цеолита и гидратированной извести [19].

Динамический модуль упругости E_{DM} является одним из важнейших свойств оценивающих черты композитного материала [17]. На основании полученных итогов (Рис. 2.13) можно заметить отрицательное влияние добавления натуральных волокон на динамический модуль упругости.

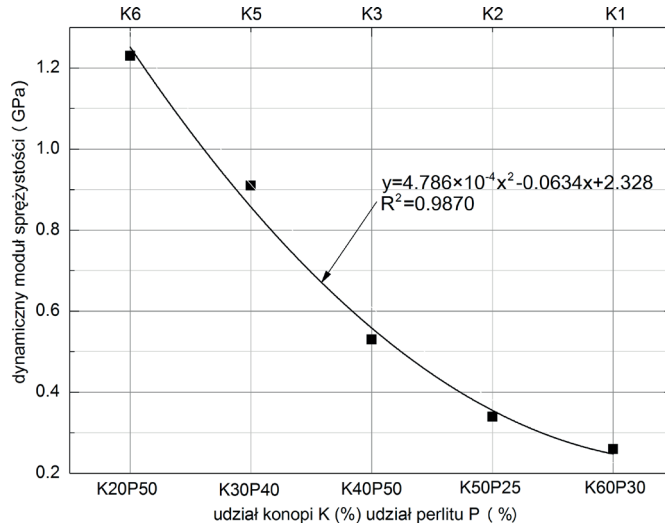


Рис. 2.11. Средний динамический модуль упругости после 28 дней

Наряду с ростом добавки волокон от 20 до 60%, динамический модуль постепенно понижается и в 5 раз меньше композита K1. Почти двукратный рост модуля замечается в случае применения добавки этиленвинилацетата, в композите K4.

Gomes и др. [21] провели исследования на нескольких типах растворов, состоящих в основном из глины, и других составных элементов, т.е.: песка, гидратированной извести, естественной гидравлической извести, портландцемента, римского бетона и натуральных костр. Растворы содержали добавки 0%, 5%, 10% или 15% вяжущего вещества и 0% или 5% конопляных костр. Использовано четыре типа вяжущего вещества: гидратную известь, естественную гидравлическую известь, портландцемент, СЕМ II/BL 32.5 N и романцемент. Получено следующие результаты: динамический модуль от 0.214 ГПа (10 или 15% портландцемента и романцемента, 5% костр) до 1.239 ГПа (10% цемента романцемента, 5% костр), прочность при изгибе от 0.06 до 0.25 МПа (10% романцемента и 5% костр), прочность при сжатии от 0.11 до 0.58 МПа. Самые высокие прочностные параметры были получены путём элиминации извести из раствора и с содержанием цемента, особенно 10% романцемента и 5-ти% добавкой костр [17].

Аналогическая зависимость была подтверждена в исследованиях, презентированных в работе, а именно при увеличении количества портландцемента – прочностные параметры композитов из извести и конопли возрастали.

Тесты, проведенные по штукатуркам на базе zeолита, легких заполнителей бетона, портландцемента, портцемента и гидратированной извести, описанные в [22] показали, что этиленвинилацетат (EVA), является важной добавкой, которая влияет на механические свойства реставрационной штукатурки. Растворы, имеющие самое высокое содержание полимера (0.9% мас) характеризовались высшими параметрами прочности, самой высокой морозостойкостью и кристаллизации солей, растворимых в воде.

Сходные закономерности были замечены также в презентированных в рапорте исследованиях. Этиленвинилацетат, применяемый в композите K4 вызвал более чем двукратное увеличение параметров прочности.

2.5 Подведение итогов

Предлагаемые рецептуры композитов из сортов конопли, выращиваемых в Польше и на базе вяжущих веществ с добавкой исвести, проявляют физические свойства похожие на современные изоляционные или энергосберегательные материалы и могут применены в сочетании с рамами несущих стеновых конструкций. Другие важные аспекты обработанных композитов, это низшая стоимость рпроизводства по отношению к традиционным строительным материалам.

Свойства композитов зависят в преобладающей степени от их состава и процесса загущения во время производства. Термическая характеристика композитов из извести и конопли показала потенциально очень хорошие свойства, которые дают возможность применять их во многих отраслях строительства. Однако, добавление конопли ведет к получению относительно низкой прочности при сжатии и при изгибе, а также низкого динамического модуля упругости композитов по сравнению с традиционными строительными материалами. Динамические и механические свойства волокон

укрепленных композитов зависят от разных факторов таких, как: загруженность волокон и их расположение в композите. Добавление этиленвинилацетата как примеси пластификатор-укрепляющей привело к значительному увеличению параметров прочности композитов К4 и улучшило их обрабатываемость. На повышение этих параметров повлияло также незначительно большее содержание извести (на 3 кг/м³) и цемента (на 0.70 кг/м³) по отношению к составу композита К3. Однако решительное влияние на улучшение параметров прочности оказало применение сополимера. Установлено обоснованность применения этого типа добавок в процессе производства конопляных композитов.

Будущие исследования могли бы сосредоточиться на использовании добавок, приводящих к повышению механической прочности конопляных композитов так, чтобы возможным было исключение каркаса из древесины в виде несущей конструкции стен.

Библиография

- [1] Asprone D., Durante M., Prota A., Manfredi G.: Potential of structural pozzolan matrix – hemp fiber grid composites, *Construction and Building Materials* 25, 2011, p. 2867–2874.
- [2] Ip K., Miller A.: Life cycle greenhouse gas emissions of hemp–lime wall constructions in the UK, *Resources, Conservation and Recycling* 69, 2012, p. 1–9.
- [3] Bevan R., Woolley T.: Hemp lime construction – a guide to building with hemp lime composites, Bracknell, UK: IHS BRE 2008.
- [4] Singh B., Gupta M., Tarannum H.: Jute sandwich composite panels for building applications, *Journal Biobased Materials Bioenergy* 4:4, 2010, p. 397–407.
- [5] Silva S.P., Sabino M.A., Fernandes E.M., Correlo V.M., Boesel L.F., Reis R.L.: Cork: properties, capabilities and applications, *International Materials Reviews* 50:6, 2005, p. 345–65.
- [6] Paivaa A., Pereira S., Sá A., Cruz D., Varum H., Pinto J.: A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards, *Energy and Buildings* 45, 2012, p. 274–9.
- [7] Kodah Z.H., Jarrah M.A., Shanshal N.S.: Thermal characterization of foam-cane (Quseab) as an insulant material, *Energy Conversion and Management* 40:4, 1999, p. 349–67.

- [8] Ren Q., Li J.Z., Lu Z.Y.: Studies on the wood fiber-rock wool composites, Beijing Linye Daxue Xuebao/Journal of Beijing Forestry University 29:2, 2007, p. 161–4.
- [9] Nicolajsen A.: Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material, Building and Environment 40:7, 2005, p. 907–14.
- [10] Dalmay P., Smith A., Chotard T., Sahay-Turner P., Gloaguen V., Krausz P.: Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum, Journal of Materials Science and Technology 45:3, 2010, p. 793–803.
- [11] Kymäläinen H.R., Sjöberg A.M.: Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, Building and Environment 43:7, 2008, p. 1261–9.
- [12] Ashour T., Georg H., Wu W.: Performance of straw bale wall: a case of study, Energy and Buildings 43:8, 2011, p. 1960–7.
- [13] Arnaud L., Gourlay E.: Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concrete, Construction and Building Materials 28:1, 2012, p. 50–6.
- [14] Summerscales J., Dissanayake N.P.J., Virk A.S., Hall W.: A review of bast fibres and their composites. Part 1 – Fibres as reinforcements, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 41, 2010, p. 1329–1335.
- [15] Stikute A., Kukle S., Shakhmenko G.: Ecological Materials for Frame Housing 6, 2011, p. 43–48.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z późniejszymi zmianami.
- [17] Reddy M.I., Srinivasa Reddy V.: Dynamic Mechanical Analysis of Hemp Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 3:9, 2014, p. 410–415.
- [18] Collet F.: Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de Génie Civil à faibles impacts environnementaux. Ph.D. thesis. INSA de Rennes 2004 [in French].
- [19] Stevulovaa N., Kidalovaa L., Cigasovaa J., Junaka J., Sicakovaa A., Terpakovaa E.: Lightweight Composites Containing Hemp Hurds, Procedia Engineering 65, 2013, p. 69–74.
- [20] Li A., Gacoin A., Mai T., H.: Performance of hemp-starch concrete composite, Advanced Materials Research 724-725, 2013, p. 1531–1534.
- [21] Gomes M.I., Diaz Gonçalves T., Faria P.: Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers, Proceeding of the 1st International Conference on Rammed Earth Conservatio, Mileto C., Vegas F. and Cristini V. Valencia, Spain, 2012, p. 21–23.
- [22] Barnat-Hunek D., Klimek B., Franus W.: The influence of zeolite additive on the physical and mechanical properties of renovation plasters, Izolacje 9, 2014, p. 58–64.

РАЗДЕЛ III

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ПОСТРОЙКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ, ЗАПОЛНЯЮЩИХ ДЕРЕВЯННЫЙ КАРКАС

3.1 Выполнение работ по изготовлению фундамента

При выполнении работ по проектированию фундаментов, требуются знания, касающиеся почвенных условий площади, предназначенной для постройки, дающие возможность оформления геотехнической документации, включающей в себя, между прочим геотехнические параметры почв, геотехнические разрезы, в которых обозначено расположение слоев почвы и ее типы, а также информацию об уровне грунтовых вод. Фундамент должен быть посажен на грунте с несущей способностью. Нельзя делать фундамент на минеральных почвах и насыпях, потому что под влиянием нагрузки они деформируются, что может привести к оседанию фундамента и целого здания. Неправильным видом почв для постройки являются также плотные, непроницаемые, а также почвы, подвергающиеся изменению по пластическому состоянию под воздействием воды — глина, суглинки, глинистые пески.

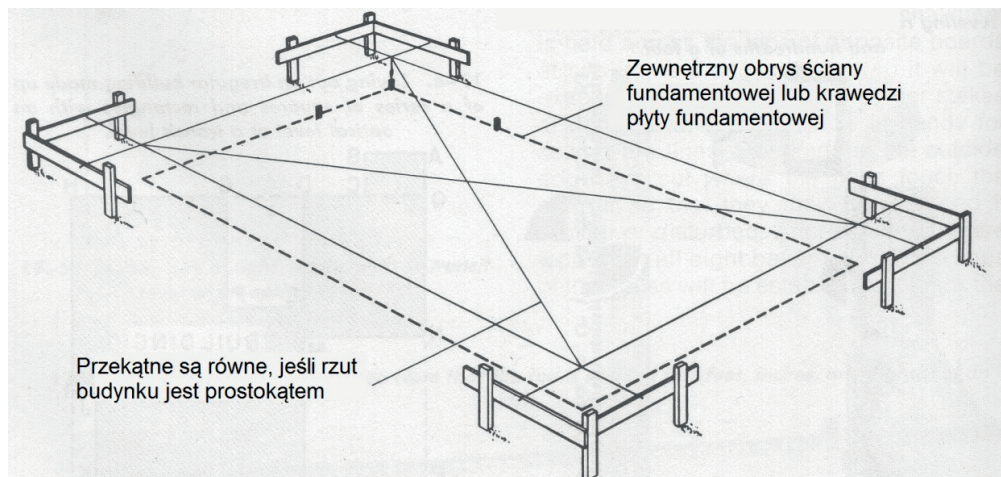


Рис. 3.1. Определение краев фундамента при помощи обноски для разметки ленты фундамента дома [1]

(zewnątrzny obrys ściany fundamentowej lub krawędzi płyty fundamentowej – наружная обрисовка фундаментной стены или края фундаментной плиты, przekątne są równe, jeśli rzut budynku jest prostokątem – диагонали равны, если проекция здания является прямоугольником)

Фундаменты в зданиях, построенных на основании технологии заполнения стен смесью композита из извести и конопли, как правило, делаются традиционными технологиями. В зависимости от типа проекта или почвы в месте установления, могут это быть ленточные фундаменты или плиты из бетона. Учитывая небольшой вес конструкции здания, сделанного из деревянного каркаса, заполненного легкой смесью извести и конопли, разрезы элементов фундамента могут быть меньше, чем напр. в зданиях, строенных традиционной технологией с кирпичными стенами. Это связано с меньшей стоимостью земельно-строительных работ, а также с меньшим использованием бетона в общем сопоставлении строительных материалов.

Постройку следует начать с определения краев или осей фундамента. Это действие должно быть выполнено геодезистом, который имеет право осуществлять такие работы. Наиболее точным методом является метод обноски для разметки ленты фундамента дома (проволочный) представлен на Рис. 3.1. Скрещении шнуров, помещенных на обносках для разметки

ленты образует угловую часть ленты. При помощи повешенного шнура с легкой нагрузкой, эта точка переносится на грунт.

3.2 Плита фундамента

Простым и часто применяемым решением является плитовой фундамент. (Рис. 3.2). После выполнения работ, связанных с котлованом соответствующей глубины, следует точно уплотнить почву на всей ее поверхности, а потом положить слой хорошо пропускаемого заполнителя бетона, напр. гравия. Вдоль конструкционных стен нужно сделать укрепление, т.е. утолщить разрез плиты в виде ребер, а также применить продольную арматуру.

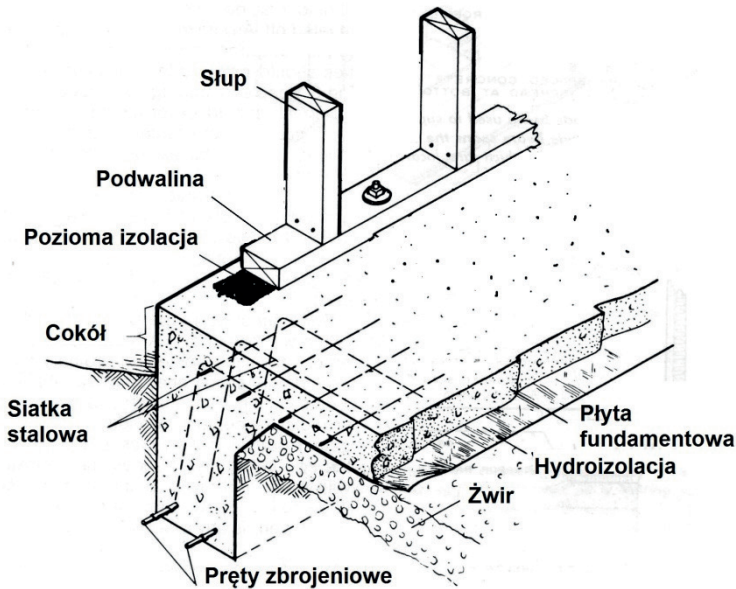


Рис. 3.2. Деревянная конструкция стены на плите фундамента [1]

(płyta fundamentowa – фундаментная плита, hydroizolacja – гидроизоляция, żwir – гравий, pręty zbrojeniowe – арматура, siatka stalowa – стальная сетка, cokół – цоколь, pozioma izolacja – горизонтальная изоляция, podwalina – основа, słup – столб)

Изготовление плиты фундамента элиминирует необходимость осуществления глубокого котлована, особенно тогда, когда фундамент, предусмотренный под легкую скелетную конструкцию с заполнением, не будет переносить

больших нагрузок. Предлагается укладку скелета на высоте по крайней мере 30 см выше уровня окружающей площади, делая цоколь из материала стойкого к воздействию воды.

Решаясь на изоляцию пола на почве смесью из композита из извести и конопли, следует обеспечить изолированность материала от бетонной плиты, чтобы прекратить путь капиллярного поднятия воды из почвы. Композит должен иметь возможность свободно высыхать, а затем хорошим методом является помещение смеси не непосредственно на строительной клеенке, но на слое сыпучего материала, напр. перлита либо керамзита. (Рис. 3.3). Делая термоизоляцию пола на почве, следует учитывать теплотехнические тепловые требования, касающиеся граничного коэффициента теплопроводности равного $0,3 \text{ В/м}^2\text{К}$ [2]. Слой композита должен быть хорошо уплотненным, а отношение вяжущего вещества к конопляной костре должно быть большим, чем по сравнению со стенами. Перед укладкой паркетного пола (напр. с досок), следует выровнять поверхность композита из извести и конопли путем осуществления работ по стяжке пола из известковых растворов или самовыравнивающегося раствора для полов. Это зависит от выбора верхнего слоя пола в эксплуатируемом помещении.

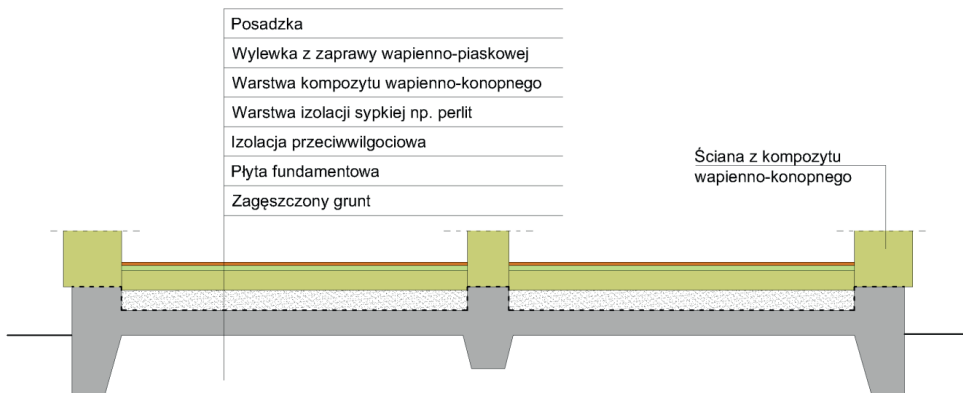


Рис. 3.3. Схема плиты фундамента вместе со слоями пола на почве

(Posadzka – пол, wylewka z zaprawy wapienno-piaskowej – стяжка пола из слоя композита из извести и песка, warstwa kompozytu wapienno-konopnego – слой композита из извести и конопли, warstwa izolacji sypkiej np. perlit – слой сыпучей изоляции напр. перлита, izolacja przeciwwilgociowa – влагоизоляция, płyta fundamentowa – плита фундамента, zagęszczony grunt – уплотненная почва, ściana z kompozytu wapienno-konopnego – стена из композита из извести и конопли)

3.3 Ленточный фундамент

Следующим возможным решением является выполнение работ по изготовлению ленточных фундаментов с фундаментными стенами, напр. из бетонных блоков (Рис. 3.4, Рис. 3.5). К фундаментной стене прикреплена деревянная рама, являющаяся конструкцией стены. На стыке деревянной конструкции (основы) с бетонной фундаментной стеной следует положить горизонтальную гидроизоляцию. Важно, чтобы стена из композита из извести и конопли, как и каждая, сделанная из органических материалов, должна быть сделана на цоколе, защищающим материал от дождевой воды собирающейся вокруг здания. Примерное решение представлено на Рис. 3.4. Возможным является изготовление цоколя из кирпича, камней или иных материалов стойких к воздействию воды, установленных на фундаментной стене. Если цоколь установлен с наружной стороны, выполняет он защитную функцию. Между цоколем и композитом из извести и конопли следует положить гидроизоляцию. Цоколь может быть тоже конструкционным элементом - тогда деревянная конструкция стены прикрепляется непосредственно к нему.

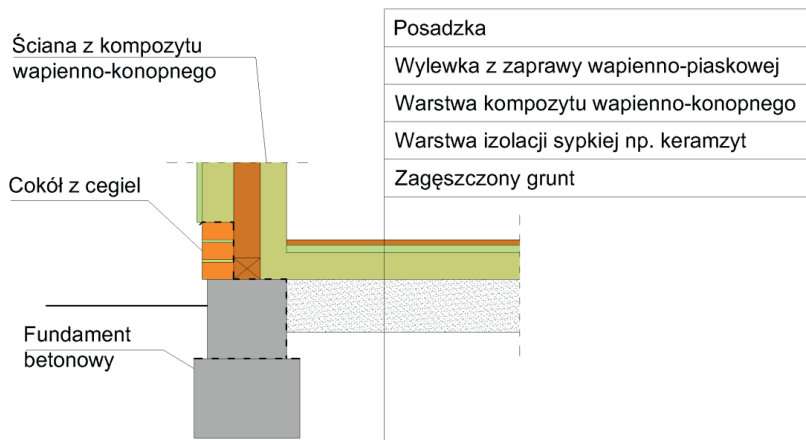


Рис. 3.4. Стена, изготовленная из композита из извести и конопли, поставленная на на бетонном ленточном фундаменте со сделанным цоколем из кирпича

(ściana z kompozytu wapienno-konopnego – стена из композита из извести и конопли, cokół z cegiel – цоколь из кирпича, fundament betonowy – бетонный фундамент, posadzka – паркетный пол, wylewka z zaprawy wapienno-piaskowej – стяжка пола из известково-песчаного раствора, warstwa kompozytu wapienno-konopnego – слой известково-конопляного композита, warstwa izolacji sypkiej np. keramzyt – слой сыпучей изоляции, напр. керамзит, zagęszczony grunt – уплотненная почва)

В случае ленточного фундамента, пол укладывается на уплотненную почву. Слой, лежащий на почве должен быть изготовлен из материала, который одновременно термоизолирует, обеспечивает дренаж, а также не поднимает капиллярно грунтовую воду – возможно применение керамзита (Рис. 3.4). Необязательно на слое керамзита можно положить геоволокно, чтобы отделить композит из извести и конопли. Слой композита должен быть более плотным, чем стеной материал. Верхняя поверхность слоя должна выравняться при помощи известкового раствора, который будет основанием под напольный материал, напр. доски на лагах (Рис. 3.5). Толщины двух слоев термоизоляции должны быть приспособлены для тепловых требований ($U \leq 0,3 \text{ В/м}^2\text{К}$) [2].

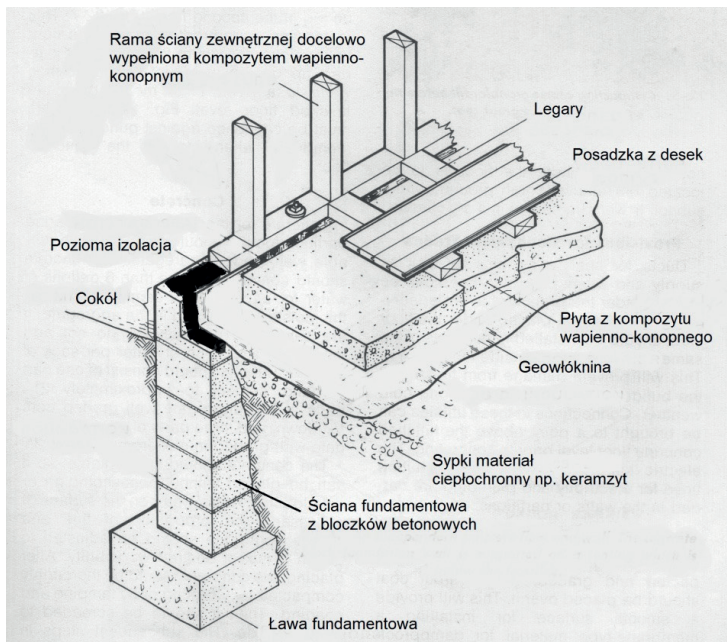


Рис. 3.5. Деревянная скелетная конструкция, поставленная на ленточном фундаменте, а также пол на почве, изготовленный из композита из извести и конопли

(Rama ściany zewnętrznej docelowo wypełniona kompozytem wapienno-konopnym – рама наружной стены целево заполненная композитом из извести и конопли, legary – лежки, posadzka z desek – паркетный пол, płyta z kompozytu wapienno-konopnego – плита из композита из извести и конопли, geowłóknina – геоволокно, sypki materiał ciepłochronny np. keramzyt – сыпучий материал теплохранимый напр. керамзит, ściana fundamentowa z bloczków betonowych – фундаментная стена из бетонных блоков, ława fundamentowa – ленточный фундамент, cokół – цоколь, pozioma izolacja – горизонтальная изоляция)

Желая уменьшить влияние здания на окружающую среду возможным является тоже изготовление фундаментов иных, чем бетонные, напр. каменные – сетки, выполненные камнями (габионы) или котлованы, выполненные известковыми камнями в виде ленточных фундаментов. Фундаментные технологии с использованием камней являются хорошим сочетанием с технологией, опирающейся на изготовлении стен из органических материалов – камни образуют своеобразный дренаж, позволяющий высыхать нижним партиям стены, а также защищают от капиллярного поднятия грунтовой воды в структуру стен. Эти решения являются нетипичными и требуют много анализа.

3.4 Технология строения стен с использованием известково-конопляного композита

Известково-конопляный композит используется как заполнитель стен в скелетной деревянной конструкции в монолитном виде. После изготовления фундамента, следует приступить к установлению, а также прикреплению деревянного скелета. Деревянная конструкция обычно прикрепляется при помощи металлических соединителей к бетонным или каменным фундаментам, помня об изготовлении изоляции между деревянными и бетонными элементами (Рис. 3. 6).



Рис. 3.6. Соединение деревянной рамы с фундаментом [3]

Конструкцией стены может быть деревянная рама, состоящая из основы, прикреплённой к фундаменту, напр. винтами, затопленными в бетонной стене фундамента, деревянных столбов, расставленных каждые 40-60 см, а также балки, венчающей раму (мауэрлат), на которой будет опираться конструкция крыши или перекрытия (Рис. 3.7).

В местах отверстий в стенах, которые обычно шире, чем стандартное расстояние столбов, следует укрепить столбы (установление двойных столбов), на которых ставится оконная рама либо дверная коробка. Притолоку изготавливается из деревянных балок прямоугольным сечением или из нескольких досок, соединенных друг с другом, создающих балку (Рис. 3.8). Если зато притолока будет значительно нагружена перекрытием либо крышей, можно подумать создать ее из деревянного двутавра. На Рис. 3.5 представлено придание жесткости скелету путем опалубки, которая может быть панельным домостроением, служащим одновременно укладке известково-конопляной смеси. Это точнее обсуждается в дальнейшей части работы.

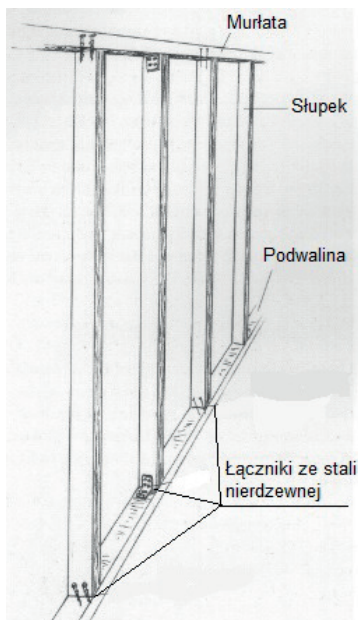


Рис. 3.7. Схема деревянной рамы [3]

(murlata – мауэрлат, słupek – столб, podwalina – основа, łączniki – соединители)

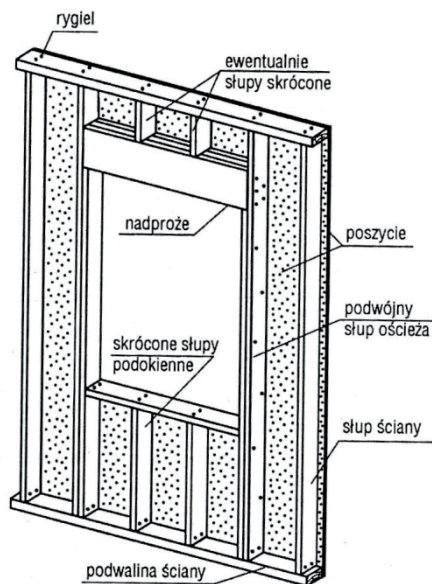


Рис. 3.8. Притолока изготовлена в деревянной раме [4]

(rygiel – ригель, ewentualne słupy skrócone – возможны сокращенные столбы, poszycie – обшивка, nadproże – притолока, podwójny słup ościeża – двойной столб откоса, skrócone słupy podokienne – сокращенные подоконные столбы, podwalina ściany – основа стены)

Оконное отверстие снизу ограничено тоже горизонтальной балкой, соединяющей два столба откоса. Эта балка должна опираться на подоконные столбы (Рис. 3.8). В месте, в котором должно быть сделано отверстие, следует укрепить опалубку, которая позволит изготовить откосы из известково-конопляного композита (Рис. 3.9)



Рис. 3.9. Изготовленная опалубка, позволяющая оставить оконное отверстие (метод ручного способа кладки смеси) [5]

Проектируя скелет здания, следует избегать проектировать труднодоступные места, в которых будет трудно точно уложить известково-конопляную смесь. Следует тоже предусмотреть способ крепления опалубки, а также снабжения здания, напр. умывальников или тяжелой мебели, висящей на стене.

3.5 Локализация деревянной рамы

Преграды можно конструировать разными способами, отличающимися, прежде всего, локализацией деревянной стеной рамы. Чаще всего встречается помещение деревянной рамы центрально или по внутренней стороне (Рис. 3.10).

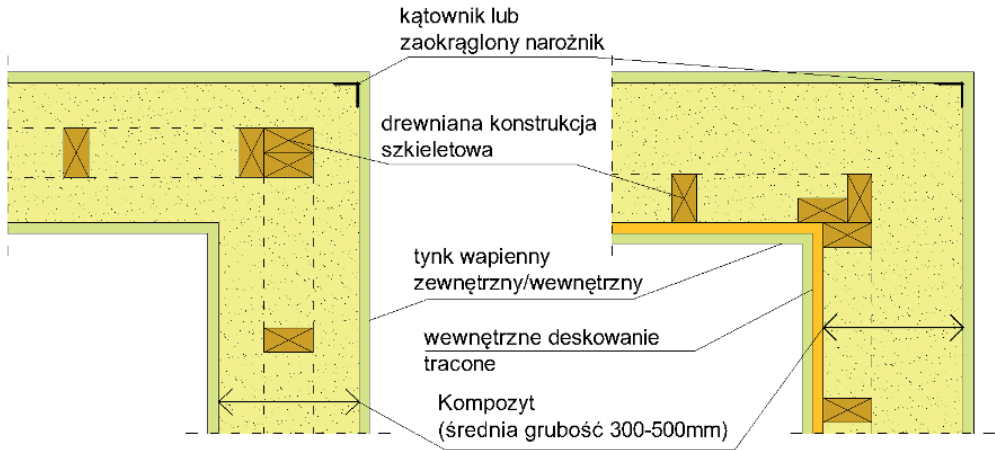


Рис. 3.10. Схема скелетной стены с композитным заполнителем на базе конопли [6]

(kątownik lub zaokrąglony narożnik – угольник или закругленный наружный угол, drewniana konstrukcja szkieletowa – деревянная скелетная конструкция, tynk wapienny zewnętrzny/wewnętrzny – известковая штукатурка наружная/внутренняя, wewnętrzne deskowanie tracone – внутреннее панельное домостроение, kompozyt (średnia grubość 300-500 mm) – композит (средняя толщина 300-500 мм))

3.6 Центральная локализация деревянной рамы по отношению к толщине стены

Первым из указанных способов является центральное помещение деревянной рамы в толщине стены (Рис. 3.11). Разрез столбов в одноэтажном строительстве может составлять 50 x 100 мм, зато в двухэтажном - 50 x 150 мм [3]. Это реализованные примеры, однако точные измерения должны быть проведены в зависимости от специфики проекта. В угловых частях зато предлагается увеличение разреза столба, напр. путем установления двух столбов непосредственно друг к другу. С целью укладки смеси на стене, монтируется временную опалубку. При помощи винтов регулируется и устанавливается требуемая толщина стены. Винты прикрепляются к деревянным столбам, а также охраняются пластиковой трубой, чтобы возможным было удаление винтов после демонтажа опалубки. Отверстия, созданные в эффекте соединений, покрываются известково-коноплянным композитом. У этого решения несколько достоинств. Прежде

всего древесина покрыта со всех сторон композитом щелочной реакции, а затем конструкция защищена от биологической коррозии. Композит защищает тоже от действия огня – после приложения к утврдевшему композиту горелки с пламенем температурой свыше 1500°C и его воздействию, углежжению подвергается лишь поверхность места, к которому прилагается пламя [7]. Со статистической точки зрения, загрузка собственным весом раскладывается равномерно и симметрически по отношению к скелету, а загущенный, утврдевший композит делается жестким в продольном направлении что элиминирует необходимость применять фронтоный фартук. Однако, в зависимости от специфики конструкции, а также решения конструктора, в случае больших боковых загрузок предлагается сделать жёсткие крепления в поперечном паправлении, напр. в виде досок разрезом 150 x 25 mm (Рис. 3.12), но могут быть также стягивающие стальные нержавеющие элементы. Эти элементы, делающие конструкцию твердой, должны закрепляться после установления скелета.



Рис. 3.11. Деревянная рама, установленная центрально по отношению к толщине стены [8]



Рис. 3.12. Укрепление стены в виде стоек [3]

3.7 Локализация деревянной рамы по внутренней стороне стены

Очередным способом конструирования стены является помещение деревянной рамы по внутренней стороне стены (Рис. 3.13). В этом случае с внутренней стороны стены возможно применение панельного домостроения, прикрепляющего её к скелету. Паропроницаемость опалубки и композита должны быть сопоставимыми, чтобы дать возможность высыхать стенам. Плиты опалубки должны быть также устойчивыми к разрушительной силе воды, а затем чтобы после поглощения воды имели возможность ее испарения без влияния на свои свойства. Это могут быть плиты из древесного волокна, MgO или, напр. циновка из виклины или тростника. С наружной стороны применяется временная опалубка так же, как и в предыдущем обсуждаемом случае. В таком решении загрузка собственным весом не разложена симметрически по отношению к столбам, а центр тяжести стены находится в месте столба. Существует затем риск, что композит будет отклеиваться от деревянной наружной конструкции. Хорошим решением

является прикреплению деревянных планок параллельно к столбам каждые 50-60 см вдоль высоты стены. (Рис. 3.14). Обеспечивают они лучшее связывание композита с деревянной рамой. Преимуществом помещения рамы изнутри является возможность прикрепить в помещениях на стенах тяжелое оборудование, такое как: шкафчики или умывальники. В других случаях необходимым является дополнительная конструкция во время изготовления стен, специально для этой цели.



Рис. 3.13. Деревянная рама, установленная на внутренней поверхности стены с панельным домостроением [9]

Возможно тоже помещение деревянной рамы по наружной стороне либо двойной рамы по внутренней стороне, рамы переносящей загруженность с крыши, а также позволяющей прикрепить плиты панельного домостроения, зато по наружной стороне – рамы с меньшими разрезами ее элементов позволяющей закрепить фасад. Обе рамы соединяются перевязками из OSB или фанеры. Такое решение дает возможность более легкого крепления опалубки, но оно более трудоемкое, что касается самого выполнения той же конструкции.



Рис. 3.14. Планки прикреплены к деревянной раме, обеспечивающие лучшее связывание композита со скелетом [3]

3.8 Решения внутренней стены, а также притолоки

Конструкция внутренней стены аналогична наружной. Она состоит из рамы в виде столбов, основы, а также верхней балки, которая является венцом. Верхняя балка должна быть укрепленной, напр. в виде соединенных при помощи гвоздей двух пиломатериалов разрезом столба (Рис. 3.15). Укрепление предлагается в связи с возможностью переносить им загрузки, вызванные крышей или потолком. В месте соединения рамы внутренней стены с наружной тоже предлагается сделать двойной столб в раме наружной стены.

Стенные притолоки в скелетных конструкциях можно изготавливать применяя разные решения, однако всегда это место должно быть укреплено в виде, напр. трех столбов разрезами, которые приняты для стен. На Рис. 3.16 и Рис. 3.17 представлены самые простые и чаще всего применяемые решения, касающиеся притолок.

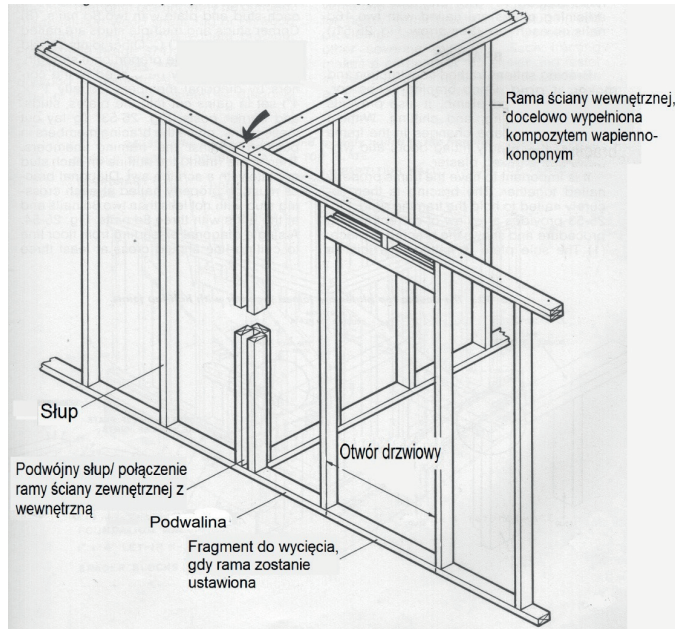


Рис. 3.15. Соединение рамы стены наружной с внутренней [1]

(rama ściany wewnętrznej docelowo wypełniona wapienno-konopnym kompozytem – рама внутренней стены, заполненная известково-конопляным композитом, otwór drzwiowy – дверное отверстие, fragment do wycięcia, gdy rama zostanie ustawiona – фрагмент для вырезки, когда рама будет устанавливаться, podwalina – основа, podwójny słup/połączenie ramy ściany zewnętrznej z wewnętrzną – двойной столб/соединение рамы наружной стены с внутренней, słup – столб)

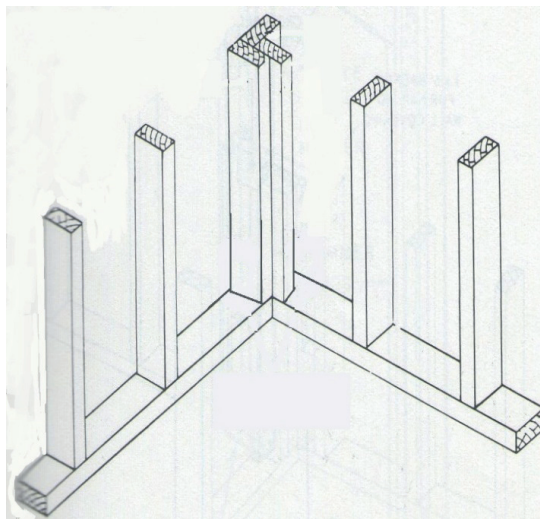


Рис. 3.16. Решение, касающиеся стенной притолоки в здании с деревянной скелетной конструкцией [1]

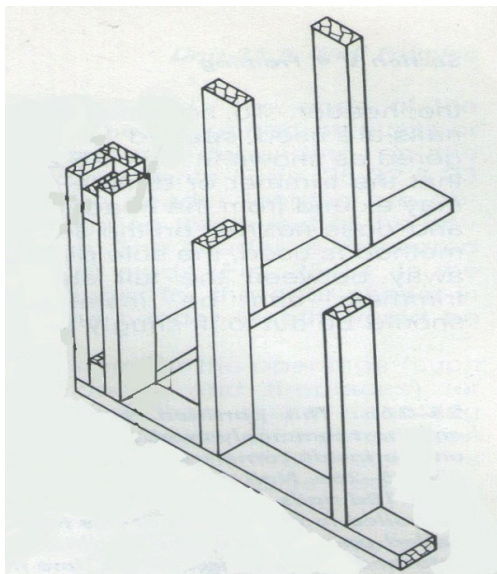


Рис. 3.17. Решение, касающееся стенной притолоки в здании с деревянной скелетной конструкцией [1]

3.9 Технология аппликации известково-конопляной смеси

Укладка композитной смеси в опалубке во время построек малых проектов таких, как односемейные дома, обыкновенно выполняется ручным способом. Опалубка устанавливается на высоте около 50-60 см. Смесь разводится по опалубке образуя слой около 10 см, после чего загушивается деревянной трамбовкой, особенно обращая внимание на заполнение труднодоступных мест, а также притолок. Смесь должна трамбоваться легко, чтобы не ухудшить термоизоляционных параметров перегородки. Это действие повторяется пока целиком не заполнится ставленная опалубка, после чего следует подождать некоторое время, пока композит предварительно не затвердеет, чтобы был в состоянии перенести свой собственный вес.

Все это зависит от рецептуры композита, но обычно это возможно уже после истечения 4 часов. Существенным является правильный подбор вяжущего вещества. Гидратированная известь как вяжущее воздушное вещество твердеет очень медленно вследствие карбонатизации, зато в случае стройки стен важным является его ранняя способность связываться по

технологическим причинам, чтобы можно было укладывать очередные слои стены. Поэтому вяжущее известковое вещество должно модифицироваться гидравлическими или пуцолановыми добавками, которые ускоряют твердение. После демонтажа первого слоя опалубки, ее перемещается чуть выше, после чего можно применять следующую партию смеси (Рис. 3.18). Временная опалубка может изготавливаться из фанеры, плит OSB, а также искусственного материала.



Рис. 3.18. Временная опалубка стены [9]



Рис. 3.19. Механический метод укладки смеси [10]

Смесь можно укладывать механически при помощи агрегата (Рис. 3.19). Этот метод реже применяется, в связи с необходимостью обладать соответствующим оборудованием, а также в связи с рентабельностью, которая замечается в ходе работ, не связанных с реализацией проектов односемейных домов, а более крупных объектов. Согласно этому методу, при помощи сжатого воздуха подаются сухие костры и известковое вяжущее, а у самого выхода из агрегата смешиваются с водой, которая подается другим шлангом, благодаря чему контакт смеси с водой кратковременен. В связи с этим, процесс высыхания короче, чем в случае традиционного смешивания и укладки. В связи с подачей смеси под влиянием давления, она неким способом загущается.

Чтобы выполнить тепловые требования, действующие в Польше, ставленные наружным стенам, их коэффициент проницаемости должен быть не выше, чем $0,25 \text{ В/м}^2\text{К}$ [2].

Возможным является изготовление перегородки применяя лишь известково-конопляный композит в качестве заполнителя, без необходимости применять дополнительные слои утепления. Требуемая толщина стены, которая будет в состоянии выполнить вышеуказанные требования, зависит от примененного композита, его густоты, а также рецептуры. Однако толщина такой стены обычно должна вмещаться в пределах 300-500 мм. Превышение толщины 500, а даже 400 мм не рекомендуется в связи со значительно продленным сроком высыхания стены. В случае необходимости применять толщину больше, чем 400мм, лучшим решением будет применить толщину, составляющую 400 мм, зато желая повысить термоизоляционность стены рекомендуется добавить слой термоизоляции из конопляной шерсти на деревянном ростверке.

Ниже в Таблице 3.1 представлены 4 примерных композита, обладающих разной степенью теплопроводности, а также поданы требования по толщине стен с целью получить соответствующие коэффициенты теплопроницаемости.

Таблица 3.1. Полученные коэффициента теплопроницаемости для стен, изготовленных из разных известково-конопляных композитов при разной толщине стен

Толщина [мм]	$\lambda=0,08$ В/мК	$\lambda=0,085$ В/мК	$\lambda=0,09$ В/мК	$\lambda=0,095$ В/мК
	U [В/м²К]			
300	0,25	0,27	0,29	0,30
350	0,22	0,23	0,25	0,26
400	0,19	0,21	0,22	0,23
450	0,17	0,18	0,19	0,20
500	0,16	0,17	0,17	0,18

3.10 Проведение проводов через стены

В стенах, изготовленных по экологическим технологиям, существенным является обратить особое внимания на место, а также способ размещения проводов. Самым простым способом проведения электрических проводов через стены является разложение их после изготовления конструкции, но до момента укладки смеси. Это позволит избежать позднейшейковки борозд в стенах (хотя и такая операция не является

проблемой в случае известково-конопляного композита). Провода должны вестись в пластмассовых или металлических (не ржавеющих) укрытиях, что создает защиту проводов от механических повреждений, которые могут появиться во время дальнейших работ. Благодаря этим укрытиям, обеспечивается циркуляция воздуха вокруг проводов, что понижает риск перегрева и возможного возгорания стены вследствие аварии. Провода могут проходить вдоль деревянной рамы и, там где это требуется, должны быть прикреплены к деревянным элементам. (Рис. 3.20).



Рис. 3.20. Электрические провода, проведенные в стене пред укладкой смеси [3]



Рис. 3.21. Слева – электроинсталляционные коробки, прикрепленные к деревянному элементу стеной конструкции, справа – дополненные убытки вокруг коробок [3]

Если в стене предусматривается монтаж розетки или переключателя, ящик должен быть прикреплён непосредственно к рамке, или к специально встроенному для этой цели деревянному элементу в рамке, таким образом, чтобы поверхность ящика равнялась с поверхностью стены. Не будет тогда он мешать опалубке. Убытки, возникшие в эффекте нехватки возможности точного заполнения пространств вокруг розеток, могут заполниться после снятия опалубки (Рис. 3.21).

3.11 Технология изготовления крыши

Конструкция крыши не отличается значительно от тех, применяемых в традиционных технологиях. В случае применения стенных материалов, нестойких к воздействию дождевой воды, рекомендуется применение более длинного навеса, чем в случае домов, изготавливаемых, напр. из керамических материалов, а также оштукатуренных.

3.12 Стропильная конструкция крыши

Конструкция крыши может быть изготовлена как стропильная (Рис. 3.22). В технологии заполнения перегородок известково-конопляным композитом, в конечном итоге пространство между стропилами должно быть заполнено тем композитом, который будет выполнять функцию термоизоляции. Примерное решение показано на Рис. 3.23.

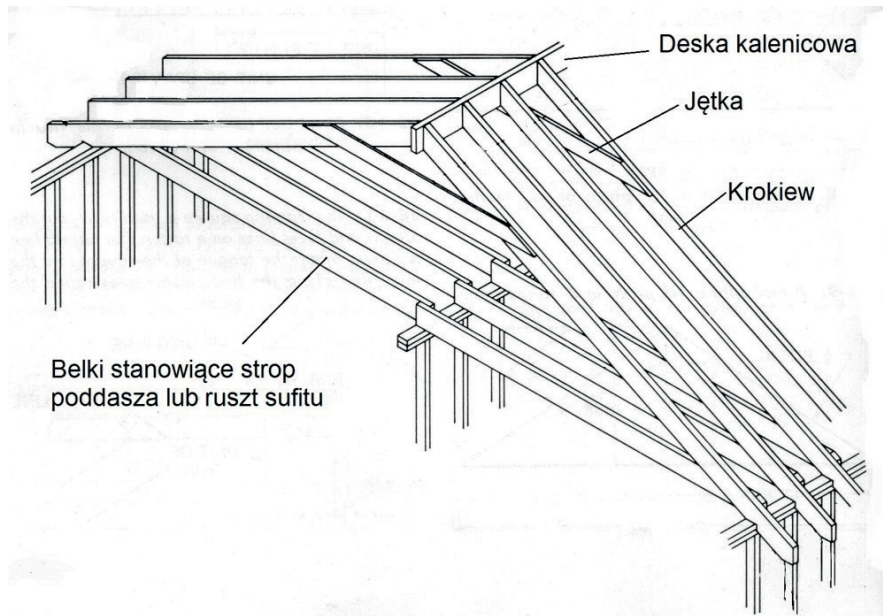


Рис. 3.22. Пример стропильной конструкции крыши, опирающейся на деревянном скелете стен [1]

(deska kalenicowa – доска конька, jętka – схватка, krokiew – стропила, belki stanowiące strop poddasza lub ruszt sufitu – балки, входящие в состав перекрытия чердака или ростверк потолка)

Стропила могут быть подбиты панельным домостроением в виде плит с параметрами хорошей паропроницаемости – так, как в случае стен. Таким способом готовится почва для укладки термоизоляции из известково-конопляного композита. В этом случае, учитывая тепловые требования, касающиеся изготовления крыш – коэффициент теплопроводности должен быть ниже, чем $0,20 \text{ В/м}^2\text{К}$ [2] – рекомендуется применить смесь меньшей густоты, чем для стен. Следует применить такое количество вяжущего вещества, чтобы обеспечить костры от биологической коррозии. Смеси не следует тоже загущать, но побеспокоиться о точном ее разведении и заполнении в труднодоступных местах (Рис. 3.24).

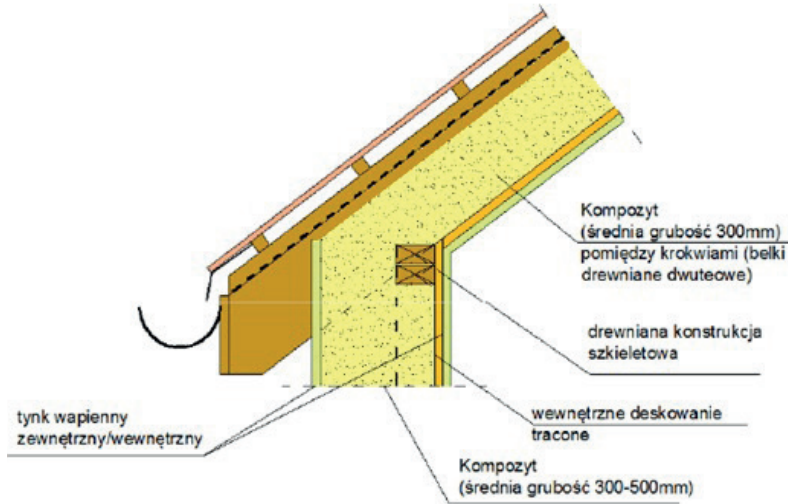


Рис. 3.23. Соединение стены с изоляцией крыши в известково-конопляной технологии

(kompozyt (średnia grubość 300mm) pomiędzy krokiewiami (belki drewniane dwuteowe) – композит (средняя толщина 300мм) между стропилами (деревянные двутавровые балки), drewniana konstrukcja szkieletowa – деревянная скелетная конструкция, wewnętrzne belkowanie tracone – внутреннее панельное домостроение, kompozyt (średnia grubość 300-500 mm) – композит (средняя толщина 300-500 мм), tynk wapienny zewnętrzny/wewnętrzny – известковая штукатурка наружная/внутренняя)

Альтернативой может быть изготовление слоя композита, помещенного на временной опалубке между ростверком из обрешетины забитой снизу строплины. Тонкий слой загущенного, утврдевшего композита (около 5 см), будет хорошей грунтовкой под слой изоляции из композита меньшего загущения.

Очередные слои обшивки могут быть такие, как изготавливаются по традиционным технологиям, т.е. деревянный прикрепленный ростверк в виде обрешетины и контробрешетины. Покрытие крыши тоже является любым. Важно, чтобы обеспечить возможность высыхания известково-конопляной смеси, а именно не прикрывать ее плёнкой предварительного крытья без оставления вентиляционного места.

Преимуществом использования известково-конопляной смеси для постройки стен и утепления крыши является обеспечение непрерывности термической изоляции при соединении крыши со стеной (Рис. 3.25).



Рис. 3.24. Укладка изоляции между стропилами на панельном строении [11]



Рис. 3.25. Плотное соединение изоляции стены и крыши [9]

В случае, когда (учитывая специфику конструкции крыши) нет возможности применить более толстый слой изоляции из композита, можно добавить снизу слой конопляной шерсти, напр. на деревянном ростверке. Коэффициент теплопроводности конопляной шерсти составляет около 0,040 В/мК [12].

При значительном пролете крыши вместо стропилы прямоугольным разрезом, можно применить стропила из клееной древесины двутавровым разрезом, преимущество которых является ограничение линейного температурного моста на месте стропила, а также уменьшение собственного веса конструкции.

3.13 Ферменная конструкция

Вне двутавра можно использовать тоже деревянные ферменные стропилы, напр. при постройке залов, складов, как и в жилых зданиях. (Рис. 3.26, Рис. 3.27).

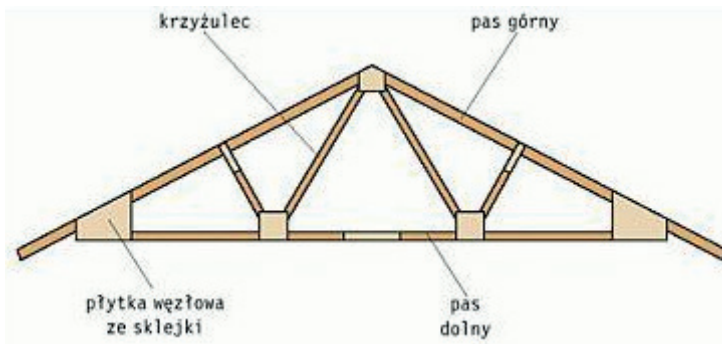


Рис. 3.26. Пример ферменной стропилы [13]

(krzyżulec – подкос, pas górny – стропила фермы, pas dolny – затяжка (балка перекрытия), płytki węzłowa ze sklejkі – узловая плита из фанеры)

Ферменная крыша может быть утеплена конопляной шерстью, уложенной между деревянным ростверком, прикрепленным к нижней стропиле фермы. Снизу фермы до затяжки можно прикрепить панельное домостроение, изготовленные из аналогичных материалов (которые обсуждались в прежней части работы), обеспечивающих

диффузию водяной пары. На так приготовленной грунтовке возможна укладка термоизоляции из известко-конопляной смеси композита при соблюдении принципов, описанных в части, посвященной стропильной конструкции. В этом случае тоже будет соблюдаться непрерывность изоляции, если стены будут изготовлены на основании этой же технологии (деревянный скелет, заполненный композитом).

Конструкция крыши в виде стропили или ферменных стропил должна опираться на укрепленные верхние балки деревянной стеной рамы. Возможно изготовление соединения путем плотничных узлов, шурупов, а также стальных соединителей в виде угольников, прикрепляемых винтами к деревянным элементам. Угольники разными размерами общедоступны, но тоже возможно их самостоятельное изготовление из полосовой стали или иных металлических элементов. Примерные решения соединений балочной стропилы, а также ферменной стропилы с конструкцией стены представлены на Рис. 3.28 и Рис. 3.29.



Рис. 3.27. Пример конструкции крыши, изготовленной из ферменной стропилы [14]

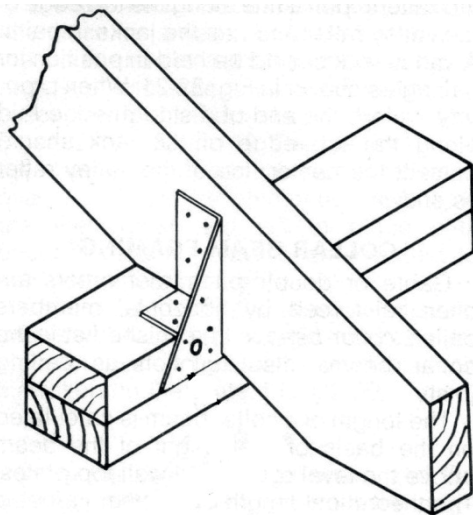


Рис. 3.28. Соединение стропилы с верхней балкой стенной наружной рамы [1]

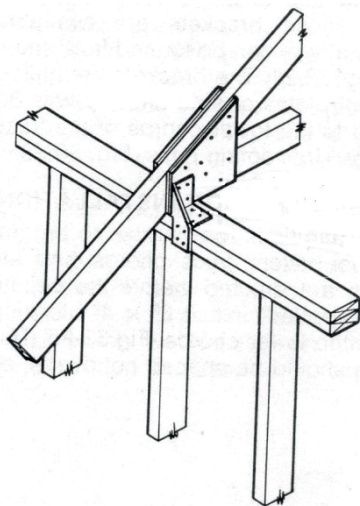


Рис. 3.29. Соединение ферменной стропилы с верхней балкой стенной наружной стены [1]

Библиография

- [1] Feirer J.L., Hutchings G.R.: Carpentry and Building Construction. Glen-coe Publishing Company, 1989.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) ze zmianą z dnia 01 stycznia 2014 r. (Dz.U., poz. 926).
- [3] Stanwix W., Sparrow A.: The Hempcrete Book – Designing and building with hemp-lime, Green Books, England, 2014.
- [4] Miedziałowski C., Malesza M.: Budynki o szkieletcie drewnianym z poszyciem. Podstawy mechaniki konstrukcji oraz zagadnienia konstruowania i realizacji. Polska Akademia Nauk, Warszawa-Białystok, 2006.
- [5] www.hempcretehome.com
- [6] Fic S., Brzyski P., Jarosz-Hadam M.: Możliwości wykorzystania odpadów lnianych i konopnych do szerokiego zastosowania w budownictwie, [W]: S. Kondracki, K. Zarzecka, Współczesne dylematy polskiego rolnictwa Cz. II, Wyd. PSW im. JP II, Biała Podlaska, 2015, s. 128-137.
- [7] Allin S.: Building with Hemp, Seed Press, Ireland, 2012.
- [8] Sparrow A.: Building with Hempcrete (hemp-lime) – Essential Tips for the Beginner, The Last Straw, 64, 2014.
- [9] www.limecrete.co.uk
- [10] www.inmatteria.com
- [11] www.hempcrete.com.au
- [12] www.steico.com
- [13] www.prefa-bud.pl
- [14] www.kreocen.pl

Количество символов с пробелами: 30 058

ROZDZIAŁ I

POWRÓT DO TRADYCJI – MOŻLIWOŚĆ UPRAWY KONOPI WŁÓKNISTYCH W REJONIE POLSKI WSCHODNIEJ

1.1 Wstęp

Makroregion Polski Wschodniej stanowi zwarty obszar o najniższym poziomie rozwoju gospodarczego w Polsce i jest jednym z najsłabszych obszarów w Unii Europejskiej. Charakter problemów niekorzystnie wpływających na sytuację społeczno-gospodarczą i perspektywy rozwoju tego regionu w znacznej mierze mają wymiar strukturalny, będący konsekwencją historycznych uwarunkowań. Są one dodatkowo negatywnie wzmacniane skutkami peryferyjnego położenia makroregionu na zewnętrznej granicy Unii Europejskiej, za którą znajdują się w dużej mierze obszary jeszcze słabiej rozwinięte. Powrót do korzeni, czyli uprawa konopi włóknistych, szczególnie w rejonach Polski Wschodniej, jest szansą dla rolnictwa, a w szczególności dla poprawy sytuacji ekonomicznej gospodarstw.

1.2 Historia uprawy konopi

Europejskim potentatem upraw konopi jest Francja. Uprawy konopi nienarkotycznych są bardzo rozpowszechnione także w Niemczech [1,2]. Polska posiada wieloletnią tradycję uprawy konopi. Obejmowały one głównie tereny Polski Wschodniej – Lubelszczyznę i Podlasie, a także Wielkopolskę. Pierwsze badania dotyczące uprawy, produkcji włókna, technologii przerobu i zagospodarowania surowca prowadzone były w okresie przedwojennym. Rodzime odmiany konopi dawały znakomitej jakości włókno na płótno, liny i nie miały właściwości

narkotycznych. Ze względu na czasochłonny i kosztowny proces przetworu konopie zostały wyparte z rynku przez rzepak, importowaną bawełnę, jutę, sizal i tworzywa sztuczne. W latach 60. obszar uprawy roślin włóknistych wynosił około 30 tys. ha. Kłopoty ze zbytem oraz niska opłacalność produkcji konopi sprawiły, że rolnicy stopniowo zaczęli rezygnować z uprawy tej rośliny. Całkowite załamanie nastąpiło na początku lat 90., kiedy powierzchnia uprawy konopi gwałtownie spadła z 2650 ha w 1989 r. do 48 ha w 1992 r. W kolejnych latach prawie całkowicie zaprzestano uprawy konopi, także na terenie Lubelszczyzny. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w 2011 r. odnotowano na Lubelszczyźnie jedynie 2 ha powierzchni uprawy konopi. Rośliny te zostały zapomniane wraz rozwojem technologii oraz postępem cywilizacji. Do wykluczenia upraw konopi przyczyniło się rozpowszechnienie narkotyku, produkowanego z indyjskiej odmiany konopi – marihuany. Obecnie uprawy konopi podlegają ostremu rygowi prawnemu, który określa Ustawa z 24 kwietnia 1997 r. o przeciwdziałaniu narkomanii. Wprowadzono w niej podział konopi na włókniste i inne, mogące służyć celom odurzającym. Za konopie włókniste uważa się rośliny zawierające mniej niż 0,2% THC (tetrahydrokannabinolu) w suchej masie ziela. Rośliny o większej zawartości THC uważane są za narkotyczne, a ich uprawa, obrót i posiadanie są zabronione. Ustawa traktuje konopie jak mak, czyli roślinę podlegającą ścisłemu nadzorowi, nawet jeśli uprawiane są odmiany o śladowych ilościach substancji narkotycznych. Nienarkotyczne odmiany konopi są bardzo rozpowszechnione w Niemczech, gdzie produkuje się z nich wiele produktów kosmetycznych i spożywczych, a także materiały termizolacyjne, wykorzystywane w budownictwie. Zakaz uprawy wysoko narkotycznych odmian konopi (np. indyjskiej) przyczynił się do poszukiwania nowych odmian tej rośliny.

W krajowym rejestrze Centralnego Ośrodka Badań Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) znajduje się sześć odmian konopi, wyhodowanych w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu: Białobrzeskie, Beniko, Rajan, Tygra, Wojko i Wielkopolskie. Są to konopie jednopienne, typowo włókniste, zawierające mniej niż 0,2% substancji psychoaktywnych (THC), a jednocześnie charakteryzujące się wysoką wartością gospodarczą.

1.3 Wymagania klimatyczno-glebowe

Odmiany konopi włóknistych, zarejestrowane w Krajowym Rejestrze COBORU mają dostosowany okres wegetacji do warunków klimatu umiarkowanego, dlatego mogą być z powodzeniem uprawiane na terenach Polski Wschodniej. Polskie odmiany konopi jednopieni-nych należą do form środkowoeuropejskich. Przystosowane są do warunków klimatu umiarkowanego i po zapewnieniu niezbędnych do ich prawidłowego rozwoju wymagań mogą być uprawiane w całym kraju [10]. Zapewnienie optymalnych warunków klimatyczno-glebowych i zastosowanie właściwej agrotechniki gwarantuje uzyskanie wysokiego plonu o określonych parametrach technologicznych nasion, słomy i włókna. W okresie wegetacji konopie wymagają 200-300 mm opadów, jednakże w uprawie konopi znacznie większą rolę odgrywa dostateczna ilość wody w glebie niż duża ilość opadów atmosferycznych [7]. Dla prawidłowego rozwoju konopi istotna jest nie tylko ogólna suma, ale również rozkład opadów w okresie wegetacji. Zużycie wody skorelowane jest bowiem z intensywnością wzrostu roślin – największe w okresie „strzelania rośliny w łodygę”. W warunkach Polski suma opadów wystarcza roślinom konopi do prawidłowego rozwoju, albowiem ich system korzeniowy – o ile nie przeszkodzi poziom wody gruntowej lub rodzaj podłoża – sięga głęboko, co pozwala na pobieranie wody z głębszych warstw gleby i przetrwanie okresów suszy. Mimo dużego zapotrzebowania na wodę konopie źle znoszą wysoki poziom wód gruntowych, który na glebach mineralnych nie powinien być wyższy niż 80 cm. Nadmierna wilgotność przekraczająca 80% połowej pojemności wodnej gleby hamuje rozwój systemu korzeniowego i ujemnie odbija się na wzroście konopi. Konopie należą do roślin ciepłolubnych. Zapotrzebowanie cieplne konopi jest stosunkowo wysokie. W strefie geograficznej pomiędzy 51° i 58° suma ciepła w okresie wegetacji konopi wynosi 2000-2600°C. Zapotrzebowanie cieplne w okresie od wschodów do dojrzałości technicznej konopi wynosi 1900-2000°C, a do dojrzałości biologicznej 2700-3000°C. Dla prawidłowego rozwoju konopi bardzo ważna jest wystarczająca ilość ciepła w okresie ich najintensywniejszego rozwoju, tj. w czerwcu i lipcu. Dotychczasowe obserwacje dowodzą, że niska temperatura i brak opadów w tym okresie wpływają hamująco na wzrost i odbijają się niekorzystnie na wysokości plonów słomy,

włókna i nasion, natomiast optymalna temperatura w tych miesiącach umożliwia codzienne przyrosty konopi przekraczające 10-12 cm. Nasiona kiełkują przy temperaturze 8-10°C w ciągu 8-12 dni. Młode rośliny znoszą przymrozki do -6°C [13,3], co umożliwia stosunkowo wczesny siew konopi, pozwalający na osiągnięcie dojrzałości biologicznej nie później niż w połowie września. W naszych warunkach klimatycznych ma to istotne znaczenie wobec konieczności dosuszenia słomy i nasion. Temperatura i opady współdziałają ze sobą, a rośliny są zdolne zrekompensować sobie efekt niekorzystnych warunków pogodowych panujących w jednej z faz rozwojowych. Termin siewu jest istotnym elementem agrotechniki, gdyż rozwój konopi w dużej mierze zależy od ilości światła, a szczególnie od długości dnia (w warunkach długiego dnia wydłuża się faza wzrostu wegetatywnego). Konopie są rośliną o intensywnym wzroście. Bardzo szybko wytwarzają ogromną ilość zielonej masy. Jednym z podstawowych warunków uzyskania dobrego plonu jest wybór właściwej gleby. Konopie uważane są za rośliny dolin rzecznych i nizin. Najodpowiedniejsze są dla nich gleby żyzne, bogate w próchnicę, azot i wapń, o odczynie obojętnym lub lekko zasadowym [10,4]. Unikać powinno się lekkich gleb piaszczystych i ciężkich ilastych, jak również terenów stale podmokłych. Doskonałym stanowiskiem są nowiny, na których konopie znajdują dobre warunki rozwoju i które dodatkowo oczyszczają je z chwastów. Wykonana w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu analiza warunków klimatyczno-glebowych Polski i wymagań konopi w tym zakresie wykazała, że uprawa tej rośliny jest możliwa niemal w całym kraju.

1.4 Wymagania agrotechniczne

Stanowisko w płodozmianie. Konopie wyróżniają się bardzo dobrą samotolerancją, tzn. przy odpowiedniej żyzności gleby i odpowiednim nawożeniu można je uprawiać wielokrotnie na tym samym stanowisku bez strat plonu. Należy jednak pamiętać, że wówczas sprzyjają warunki do szerzenia się chorób grzybowych i nasilenia pchełki ziemnej. Przy wyznaczaniu właściwego stanowiska w zmianowaniu należy uwzględnić następujące cechy konopi:

- wprowadzenie konopi do zmianowania można traktować jako zabieg odchwaszczający,

- wytwarzając duże ilości biomasy zagłuszają chwasty,
- w wyniku rozkładu głębokiego i rozwiniętego systemu korzeniowego zapewniają dobre przewietrzenie gleby i zaopatrzenie w próchnicę,
- ocieniając i osłaniając glebę pozostawiają ją w dobrej strukturze, są więc doskonałym przedplonem dla zbóż (w przypadku pszenicy ozimej powodują wyższą plon o około 20%).

Nawożenie. Konopie, wyróżniające się szybkim przyrostem biomasy, potrzebują nie tylko żyznych gleb, ale również odpowiedniego nawożenia. Im stanowisko jest słabsze, tym silniej powinno być nawożone. Zalecane w czystym składniku dawki to:

- 90-120 kg/ha N,
- 70-100 kg/ha P_2O_5 ,
- 150-180 kg/ha K_2O ,
- na glebach zakwaszonych 15-20 q/ha CaO.

Poszczególne składniki pokarmowe wpływają różnie na jakość i ilość uzyskanego plonu: azot wpływa na wzrost rośliny, potas wykorzystany jest przy tworzeniu się włókna, a fosfor bierze czynny udział w wykształceniu nasion. Podobnie jak w przypadku tworzenia się biomasy innych roślin, decydującą rolę w kształtowaniu się wysokości plonu słomy i włókna odgrywa azot. Nadmierna dawka azotu przedłuża okres wegetacji konopi, sprzyja wybujałości roślin i obniża zawartość oraz jakość włókna w łodygach.

Termin siewu. Właściwy termin siewu w znacznym stopniu wyznaczany jest przez przebieg warunków atmosferycznych wiosną i ma zasadnicze znaczenie przy uprawie konopi. W Polsce południowej optymalny termin siewu konopi przypada w I i II dekadzie kwietnia, w Polsce środkowej w II i III dekadzie kwietnia, a w Polsce północnej wydłuża się do połowy maja. Wysiew konopi w zimną glebę powoduje zbyt długie kiełkowanie nasion i wzrost procentu zaników roślin. Natomiast nadmierne opóźnienie siewu skraca gwałtownie okres wegetacji obniżając wysokość i jakość plonu. Konopie zasiane bardzo późno, tj. na początku lipca, dojrzewają niewiele później niż zasiane na początku kwietnia, jednakże dają znacznie niższe plony słomy, zwłaszcza włókna i nasion.

Gęstość siewu i rozstawa rzędów. Sieje się tylko kwalifikowany materiał siewny. Optymalna gęstość siewu konopi zależy przede wszystkim od przeznaczenia plonu i warunków klimatyczno-glebo-

wych. Liczba roślin na jednostce powierzchni ma podstawowe znaczenie dla wydajności i jakości włókna. Na plantacjach nasiennych zaleca się wysiew 10-15 kg/ha i rozstawę rzędów 50 cm. Na plantacjach przemysłowych stosuje się rozstawę rzędów 7,5-15 cm, a ilość wysiewu zależy od celu uprawy i wynosi od 40 do 70 kg/ha:

- 30-40 kg/ha – biokompozyty,
- 60-70 kg/ha – celuloza (cele włókiennicze).

Zabiegi pielęgnacyjne. Z uwagi na silny wzrost konopi i konkurencyjność w stosunku do chwastów, zabiegi pielęgnacyjne mogą okazać się zbyt ciężkie, zwłaszcza w uprawie na włókno. Jeśli jednak pole pozostaje w słabej kulturze, to zaleca się stosowanie przedwiosnowo Afalonu w dawce 1-1,2 kg/ha.

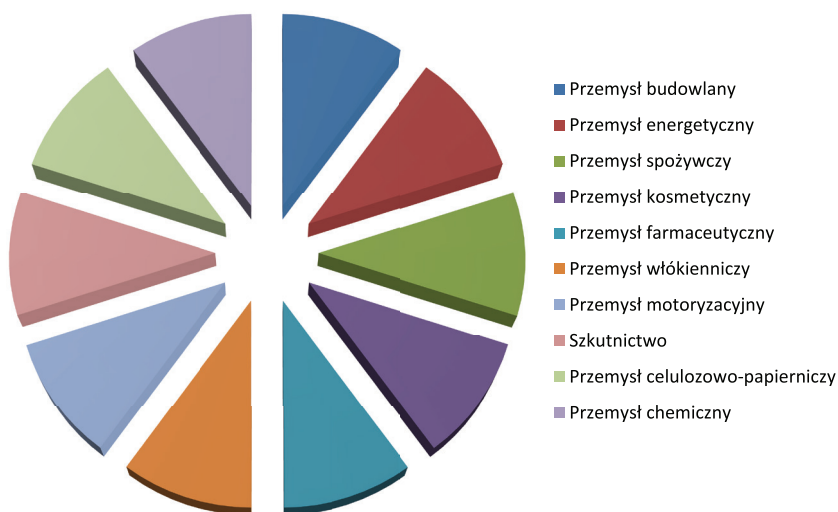
Szkodniki i choroby. Konopie tylko w niewielkim stopniu, albo w ogóle nie wymagają stosowania środków ochrony roślin. Jednak wraz z rozpowszechnieniem uprawy i koncentracją plantacji konopi należy liczyć się z możliwością wystąpienia szkodników (np. pchełki chmielowej i omacnicy prosowianki) oraz chorób (np. zgorzel siewek, szara pleśń, zgnilizna twardzikowa).

Termin zbioru. Termin zbioru konopi należy do najważniejszych czynników warunkujących wielkość i jakość plonu. Zależy on przede wszystkim od przebiegu warunków klimatycznych w okresie wegetacji, odmiany i kierunków uprawy – odbywa się w miesiącach: sierpień-wrzesień. W pełnej dojrzałości, gdy dojrzewają nasiona w środkowej części wiechy zbieramy plantacje nasienne – opóźnienie sprzętu powoduje osypanie się nasion i straty wynikłe z żerowania ptaków, występowania chorób i obniżenia klasy materiału siewnego. Na plantacjach przemysłowych w tym terminie uzyskujemy wysokie plony włókna i nieco gorszej jakości nasiona, które są materiałem przemysłowym (np. na olej lub pokarm dla ptaków czy ryb). Zbiór 1-2 tygodnie po okwitnieniu pozwala na uzyskanie wysokiego plonu mocnego włókna, natomiast zbierając około 2 tygodnie wcześniej uzyskujemy delikatne włókno przędzalnicze.

1.5 Znaczenie gospodarcze konopi

Wraz ze wzrastającą świadomością ekologiczną i poszukiwaniem alternatywnych źródeł surowców w latach 90. ubiegłego wieku w Europie i na świecie odkryto konopie ponownie jako roślinę atrakcyjną

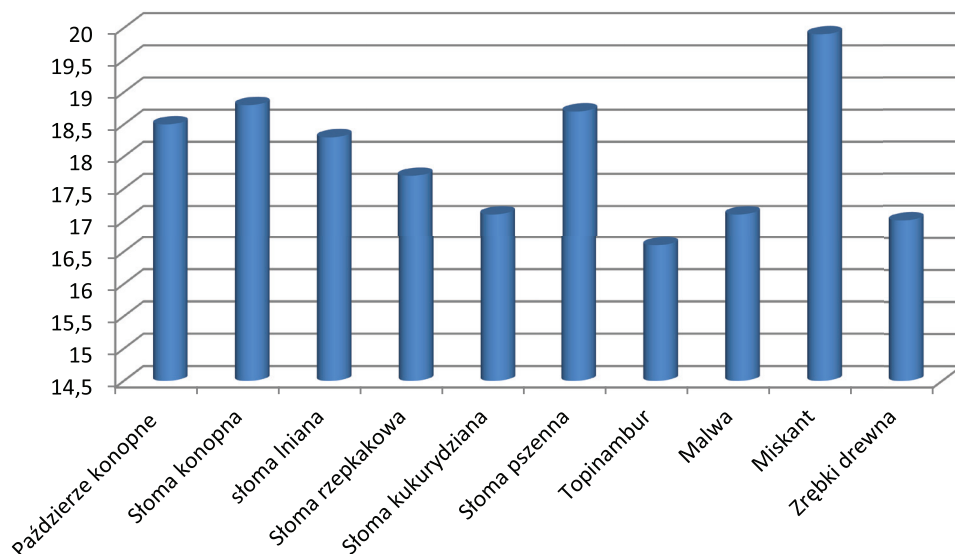
dla rolnictwa i wielu gałęzi przemysłu. Świadczą o tym bardzo szerokie możliwości wykorzystania tej rośliny, przedstawione na Rys. 1.1.



Rys. 1.1. Możliwość wykorzystania konopi włóknistych w przemyśle

W *przemyśle budowlanym* mają zastosowanie paździerze i strzępki konopne, tzw. pakuły stosowane jako ekologiczne ocieplenia domów. W Europie coraz bardziej popularna staje się technologia produkcji Hempcrete, wykorzystująca konopie i wapno. Jest to materiał siedem razy bardziej wytrzymały od betonu, a o połowę lżejszy, niepalny, który po wyburzeniu budynku można zastosować jako nawóz. Sprawdza się jako materiał izolacyjny, budulec przy konstrukcji dachów, ścian i podłóg. Jest wodoodporny, niepalny, nie gnije i w razie potrzeby ulega całkowitemu rozkładowi. Paździerze konopne wykorzystywane są również w przemyśle meblarskim i bardzo dobrze sprawdzają się przy ocieplaniu budynków. Konopie mają dobre właściwości izolacyjne: nie przepuszczają ciepła, a jednocześnie nie zamykają dostępu powietrza, co ogranicza występowanie grzybów i zawilgoceń. W Poznaniu na terenie Uniwersytetu Przyrodniczego w ramach eksperymentalnego projektu powstał ekologiczny dom z konopi. Jest to pierwszy tego typu budynek w Polsce. Technologia budowy domów z wykorzystaniem konopi charakteryzuje się wyjątkowymi cechami ekologicznymi, głównie za sprawą właściwości absorpcji CO₂ przez tą roślinę.

Przemysł energetyczny. Uzyskiwana corocznie biomasa konopi jest cennym surowcem energetycznym. Źródłem energii może być nie tylko cała roślina, ale również produkt uboczny powstający z jej przerobu, tj. paździerz stanowiące 70-75% plonu. Paździerz konopne występują w formie brykietów nadających się na opał i stanowiących doskonałe źródło energii odnawialnej. Paździerz konopne to odpady zawierające dużo ligniny i celulozy, dlatego nadają się na biomasę – przy ich spalaniu powstaje więcej energii niż przy spalaniu drewna. Dają tyle ciepła, co średniej jakości węgiel, ale są od niego tańsze. Paździerz konopne mają najwyższą z podstawowych produktów rolniczych wydajność energetyczną. W laboratorium Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu przy zastosowaniu PN 81G-04532 określono wartość energetyczną słomy i paździerzy konopnych, niektórych gatunków roślin jednorocznych i wieloletnich oraz zrębków drewna – wyniki badań przedstawiono na Rys. 1.2. Badania wykazały, że wartość energetyczna konopi przekracza 18 MJ/kg. Dla porównania drewno charakteryzuje się nie tylko niższym ciepłem spalania, na poziomie 17 MJ/kg, ale dodatkowo przed paletyzacją musi być poddane procesowi suszenia i rozdrabniania, co znacząco zwiększa koszty uzyskania surowca [9].



Rys. 1.2. Ciepło spalania wybranych gatunków roślin MJ/kg
wg Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu

Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich z Poznania pokłada ogromne nadzieje w wykorzystaniu konopi do produkcji biomasy. Pracownicy Instytutu wyhodowali nowe odmiany konopi, które bardzo szybko rosną i w ciągu 4 miesięcy osiągają wysokość do 3,5 m. Dzięki temu z 1 ha uprawy można otrzymać 15 ton biomasy. Konopie stają się alternatywą dla wszelkich odnawialnych źródeł energii, nawet w stosunku do lasów. Biomasa z konopi włóknistych spala się wydzielając mniej tlenu i dwutlenku węgla niż węgiel czy gaz ziemny, co sprawia, że z konopi można produkować ekologiczne paliwo. Konopie mają tendencję absorbowania CO₂, dlatego ich uprawa do celów energetycznych ma korzystny wpływ na przyrodę. W strefie klimatycznej Polski występują bardzo dobre warunki do uprawy konopi – jest długi dzień, który przyspiesza wzrost.

Przemysł spożywczy, w którym olej i nasiona konopi są cennie ze względu na dużą wartość odżywczą. Z konopi można uzyskać olej, słodycze, chleb, masło. Odpady poprodukcyjne wykorzystuje się jako paszę, a nasion używa się jako karmy dla ptaków. W wielu krajach konopie są źródłem żywności: w Chinach prażone nasiona są popularną przekąską, a w Rosji i na Łotwie produkuje się masło i dietetyczny olej. W staropolskich przepisach kulinarnych olej konopny określany jest jako postny i polecany jest jako dodatek do wielu potraw.

Przemysł kosmetyczny, w którym konopie wykorzystywane są produkcji kremów i maści na suchą skórę, łuszczycę, trądzik, bóle mięśni i starzenie skóry. Olej konopny jest substancją o wysokiej wartości odżywczej i silnym działaniu regeneracyjnym na poziomie komórek skóry. Czyści, odżywia, zaopatruje komórki w energię, poprawia ich gospodarkę wodną, wspomaga usuwanie obumarłych komórek.

Przemysł farmaceutyczny. Ze względu na zawartość wielu substancji leczniczych w konopiach włóknistych wykorzystuje się je jako lek przeciwłękowy, przeciwbólowy, przeciwpowieteczny, przeciwzapalny, przeciwutleniający, przeciwskurczowy oraz jako antybiotyk. Konopie wykorzystywane są do produkcji leku Sativex, zwalczającego bóle neuropatyczne, pojawiające się u pacjentów ze stwardnieniem rozsianym. Konopie wykorzystywane są

również do produkcji innego leku o nazwie Mariol, stosowanego do leczenia AIDS i anoreksji. Składniki konopi prawdopodobnie będą wykorzystane do stworzenia preparatu znanego jako Acomplia, służącego do zwalczania uzależnień i otyłości, który jest w fazie produkcji.

Przemysł włókienniczy. Ubrania z konopi są lekkie, przewiewne, oddychające i wytrzymałe. Z konopi wytwarza się tkaniny, dzianiny, włókniny i wyroby techniczne. Konopie należą do najstarszych roślin uprawnych. W słomie konopi włóknistych w zależności od odmiany znajduje się 20-30% włókna. 500 lat p.n.e. w Chinach włókno konopi używano do wyrobu odzieży, lin i sznurów. Tkaniny konopi są całkowicie naturalne, przyjemne dla ciała i wywołują efekt „drugiej skóry”, dobrze przepuszczają powietrze i chronią ciało przez zmiennymi warunkami termicznymi. Latem dają uczucie chłodu, a zimą ogrzewają, nawet jeśli tkanina jest mokra. Materiały z konopi nie powodują reakcji alergicznych i podrażnień skóry. Naturalność, ekologiczność i zdrowy charakter zostają zachowane już na etapie uprawy roślin, w której nie stosuje się nawozów chemicznych i syntetycznych komponentów. W Polsce dystrybutorem odzieży z konopi jest firma Ekokonopie.

Przemysł motoryzacyjny. Włókna konopi były testowane jako składnik wykorzystywany przy wytwarzaniu karoserii samochodowych. Pojazdy m.in. z konopi wyprodukował wizjoner przemysłu samochodowego Henry Ford w 1941r. Obecnie elementy wykonane z konopi można znaleźć w wielu niemieckich samochodach. Duża część zbiorów konopi w Niemczech jest wykorzystywana przez lokalny przemysł samochodowy. W 2008r. firma Lotus Cars poinformowała o nowym rodzaju „zielonego samochodu”, wykonanego na bazie konopi, modelu Eco Elise. Firma Motive wyprodukowała mały, elektryczny samochód, ważący około 850 kg, którego karoseria wykonana jest z lekkiego, wytrzymałego i odpornego na rdzę laminatu, powstałego na bazie konopi. W przemyśle motoryzacyjnym konopie wykorzystywane są także do produkcji biopaliw. Mieszanka oleju z konopi i 15% metanolu to substytut dla oleju napędowego w silnikach diesla (jego spalanie produkuje o 70% mniej sadzy niż w przypadku oleju z ropy naftowej).

Szkutnictwo. W czasach rozkwitu żeglugi dalekomorskiej, do końca XIX w. 70% olinowania wszystkich okrętów było wykonane z włókien konopnych, odpornych na zrywanie i wilgoć.

Przemysł celulozowo-papierniczy. Pierwszy papier powstały w Chinach był wytwarzany z włókien konopnych. Do końca XIX w. około 90% produkcji papieru pochodziło z przetwórstwa konopi. Podczas rewolucji przemysłowej zapotrzebowanie na papier wzrosło, co skłoniło do pozyskiwania papieru z surowców naturalnych. Produkcja papieru z konopi jest 4-krotnie bardziej wydajna niż papieru drzewnego. Jest to papier trwalszy i lepszy jakościowo. Słoma konopna zawiera 70% celulozy. Roczny przyrost celulozy wyprodukowanej przez konopie jest 2,5 razy większy niż przyrost celulozy uzyskany z drzew. W XX w. włókna konopne były podstawą produkcji bibułki papierosowej, filtrów laboratoryjnych, filtrów do kawy, torebek na herbatę. Obecnie tylko 0,05% papieru na świecie produkuje się z konopi. 1 ha konopi daje tyle samo masy papierowej, co 4 ha lasu. Konopie jako rośliny jednoroczne dostarczają surowca co rok, a ich koszenie nie przynosi szkody środowisku.

Przemysł chemiczny, żywice, powłoki, kleje, pianki poliuretanowe, kompozyty. Przy użyciu konopi można wytworzyć nietoksyczne farby, lakiery i detergenty.

1.6 Perspektywy uprawy konopi

Konopie, dzięki specyficznym właściwościom biologicznym, wymaganiom uprawowym i różnym kierunkom użytkowania, zaliczane są do upraw o dużym znaczeniu w realizacji idei zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Wytwarzają ogromną ilość zielonej biomasy, która ocienia glebę podczas wegetacji, a dobrze rozwinięty system korzeniowy po zbiorze roślin ulega rozkładowi. System korzeniowy konopi poprawia strukturę gleby poprzez odpowiednie przewietrzenie i nagromadzenie próchnicy. Konopie są dobrym przedplonem dla innych roślin uprawnych, nie wymagają stosowania środków ochrony roślin, są odporne na choroby i szkodniki, a zużyty materiał wykonany z konopi przy niskich nakładach nadaje się do przetworzenia w drodze recyklingu. Liście konopi mogą być wykorzystywane do celów pastewnych. Rośliny konopi

pi poprzez wiązanie CO₂ przyczyniają się do ograniczenia efektu cieplarnianego (1ha konopi wiąże około 2,5 t CO₂), a podczas spalania biomasy emitują do atmosfery mniej CO₂ i CO niż surowce kopalniane. Konopie można uprawiać na terenach skażonych, gdzie – absorbując metale ciężkie, takie jak kadm, ołów, cynk, miedź – przyczyniają się do ich rekultywacji. W 2012 r. Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu wdrożył projekt mający na celu rekultywację zdegradowanych gleb na terenach pokopalnianych poprzez obsiew konopi włóknistej.

Uprawa konopi powinna zainteresować rolników z rejonu Polski Wschodniej również ze względu na niskie wymagania uprawowe. Klimat występujący w Polsce predestynuje nasz kraj (poza pasmami górskimi) jako idealne miejsce do uprawy konopi. W każdym rejonie można znaleźć odpowiednie tereny pod uprawę, należą do nich m.in. czarnoziemy lubelskie. Jedyne problemy klimatyczne we wczesnej fazie uprawy (od wschodów do końca kwitnienia) może stanowić niedobór wody. Ważnym elementem jest dobór odpowiedniego stanowiska uprawy – najlepsze są tereny zatrzymujące wodę w glebie i pozostające w odpowiednim nasłonecznieniu. Ze względu na rozwinięty system korzeniowy w uprawie konopi większą rolę odgrywa dostateczna ilość wody w glebie niż duża ilość opadów atmosferycznych. Konopie można uprawiać na glebach mineralnych i torfowych. Najlepsze są gleby głębokie, bogate w próchnicę i wapno, niezaskorupiające się, przewiewne, ale dobrze zatrzymujące wodę. Można je uprawiać na glebach średnich pod warunkiem dobrego nawożenia i niskiego zachwaszczenia. Pod uprawę konopi nie nadają się gleby ciężkie, ilaste, łatwo zaskorupiające się i nieprzepuszczalne, a także zbyt suche gleby piaszczysto-gliniaste, nie znajdujące się w wysokiej kulturze. Istotną cechą konopi z punktu widzenia jej uprawy jest dobre wykorzystanie siły nawozowej gleby oraz brak szczególnych wymagań co do przedplonu. Można je siać po każdej roślinie. Do dobrych przedplonów zalicza się rośliny z rodziny motylkowych (lucerna, koniczyna, groch, wyka, peluszka) oraz okopowe. Nie istnieją przeciwwskazania do wieloletniej uprawy konopi w systemie ciągłym (nie dłużej niż 3 lata).

1.7 Podsumowanie

Rolnictwo na obszarze Polski Wschodniej z różnych względów staje się coraz mniej dochodowe: jest słabo rozwinięty sektor usług na rzecz rolnictwa i wsi, występuje bardzo duże rozwarstwienie gospodarstw, dominują gleby klas słabszych itp. W ostatnich latach dokonują się zmiany zmierzające do tworzenia większych i wydajniejszych gospodarstw rolnych, co ma poprawić ich możliwości finansowe. W XXI w. konopie przeżywają prawdziwy renesans, ukazując swoje wszechstronne zastosowanie i nieograniczony potencjał wykorzystania. W Europie i w Polsce po dobie kryzysu nastąpił wzrost zainteresowania uprawą i przetwórstwem konopi. Powstały nowe firmy, które rozpoczęły działalność w zakresie kontraktacji i tworzenia bazy przetwórczej. Obecnie na terenie całej Unii Europejskiej dopuszczonych do upraw jest 14 gatunków konopi, o bardzo niskim poziomie THC(poniżej 0,2%), z których nie można pozyskać substancji odurzających zwanych kanabinoidami. W 2008 r. zasiano ponad 1400 ha konopi, a Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu podpisał umowy kontraktacyjne z blisko 40 plantatorami (m.in. z woj. lubelskiego) – łącznie plantacje nasienne założono na powierzchni 240 ha. Powrót do uprawiania konopi jest szansą dla polskiego rolnictwa, zwłaszcza dla obszarów, w których uprawy te były wpisane w tradycję, np. dla Lubelszczyzny. Uprawiając konopie, rolnicy mogą poprawić swoją sytuację ekonomiczną, a jednocześnie mają możliwość zapełnić pewną niszę wynikającą z faktu, iż uprawy konopi w Europie są bardzo ograniczone i nie stanowią konkurencji dla rolnictwa Unii Europejskiej [5].

Bibliografia

- [1] Allin S.: Building with hemp, Seed Press, 2012.
- [2] Bevan R., Woolley T.: Hemp Lime Construction: A Guide to Building with Hemp Lime Composites, Bracknell, 2010.
- [3] Bocsa I., Karus M.: Der Hanfanbau, C.F. Muller, Heidelberg, 1997.
- [4] Dempsey J.M.: Fiber crops. Hemp, University of Florida, Gainesville, 1975.
- [5] Fic S., Brzyski P., Jarosz-Hadam M.: Możliwości wykorzystania odpadów lnianych i konopnych do szerokiego zastosowania w budownictwie, [W]:

- S. Kondracki, K. Zarzecka, Współczesne dylematy polskiego rolnictwa Cz. II, Wyd. PSW im. JP II, Biała Podlaska, 2015, s. 128-137.
- [6] Grabowska L.: Perspektywy uprawy konopi przemysłowych w Polsce, W: Rola infrastruktury i techniki w zrównoważonym rozwoju rolnictwa, IB-MiER, Warszawa, 2005.
- [7] Grabowska L., Koziara W.: Wpływ temperatury i opadów na plonowanie konopi włóknistych odm. Białobrzeskie. Natural Fibres vol. XXXXV, Poznań, 2001.
- [8] Grabowska L., Koziara W.: The effect of Nitrogen Dose, Swing Density and Time of Harvest on Development and Yields of Hemp Cultivar Białobrzeskie, Journal of Natural Fibres, vol. 2, nr 4, Haworth Press, 2005.
- [9] Grabowska L., Kołodziej J., Burczyk H.: Zastosowanie energetyczne konopi włóknistych, Problemy Inżynierii Rolniczej, 2/2007, s. 19-25.
- [10] Jaranowska B.: Konopie jednopienne, Wyd. PWRiL, Warszawa, 1962.
- [11] Jaranowska B.: Wpływ wzrastających dawek azotu i gęstości siewu na plony konopi jedno- i dwupiennych, Pr. IPWŁ, Poznań, 1966, t. 13, s. 21-37.
- [12] Ożarowski A., Roszkowski J.: Rośliny lecznicze i ich praktyczne zastosowanie, Instytut Wyd. Związków Zawodowych, 1987, s. 225-227.
- [13] Termagroep Regionale Ontwikkeling: Andere Gewassen in de veenkoloniale akkerbouw – mogelijkheden voor bouwplanverruiming, Wageningen, 1982.
- [14] www.coboru.pl
- [15] www.stat.gov.pl

liczba znaków ze spacjami: 27 305

ROZDZIAŁ II

BADANIA I ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW KOMPOZYTÓW NA BAZIE KONOPI I SPOIWA WYKONANYCH W RAMACH PROJEKTU

2.1 Wstęp

Z koncepcją rozwoju zrównoważonego silnie związane jest budownictwo, ponieważ ma ono duży wpływ na środowisko:

- w budownictwie zużywa się ponad 40% światowej produkcji energii,
- z budownictwa pochodzi około 35% światowej emisji gazów cieplarnianych,
- na budownictwo przypada 50% masy materiałów przetwarzanych.

Rozwiązania technologiczne oraz główne zasady w zakresie ochrony środowiska dotyczące budynków ekologicznych to: maksymalne wykorzystanie do oświetlenia pomieszczeń światła dziennego, zastosowanie materiałów regionalnych, użycie materiałów z recyklingu/możliwość ponownego wykorzystania zastosowanych materiałów, minimalizacja oddziaływania na otoczenie, użycie zasobów naturalnych – ograniczenie użycia materiałów budowlanych obniżających zasoby naturalne Ziemi, redukcja zużycia energii podczas wznoszenia budynku oraz w trakcie jego eksploatacji, minimalizowanie strat ciepła, np. wykorzystując nowoczesne technologie i materiały. Norma PN-EN 15643 podaje wymagania techniczne, środowiskowe, ekonomiczne, socjalne i funkcjonalne budynków. Na jej podstawie można dokonywać oceny obiektów budowlanych pod kątem budownictwa zrównoważonego.

Istotą budynku ekologicznego jest harmonia z otoczeniem. Oddziaływanie budynku na środowisko powinno być minimalne i powinien być on zbudowany z materiałów ekologicznych, łatwych do recyklingu, których montaż oraz produkcja nie wymaga dużych nakładów energii. Odpady produkowane zarówno podczas budowy, jak i eksploatacji budynku nie mogą zanieczyszczać wody, gleby ani powietrza. Jest to ważny aspekt, któremu poświęca się szczególną uwagę.

Budownictwo ekologiczne jest kierunkiem coraz bardziej rozwijającym się na polskim rynku budowlanym. Wynika to między innymi ze wzrastającej świadomości społeczeństwa o oddziaływaniu na środowisko. Budownictwo ekologiczne to jak najmniej ingerencja w środowisko naturalne oraz, co najważniejsze, polepszenie warunków naszego życia w odniesieniu do budynków oraz zagospodarowania danego obszaru.

Podstawowe cele postawione przez Unię Europejską odnośnie pakietu energetyczno-klimatycznego to: wzrost o 20% udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, zredukowanie emisji gazów cieplarnianych, wzrost efektywności energetycznej. Osiągnięcie tych celów ma nastąpić do 2020 roku, jednak przewiduje się redukcję emisji gazów cieplarnianych nawet o 30% w tym samym czasie. W Polsce, w budynkach zużywa się około 40% energii, z czego około 70% na ogrzewanie. Redukcję emisji CO₂ w budynku można uzyskać stosując wiele innowacyjnych technologii. Dom wybudowany z materiałów ekologicznych i eksploatowany przy ich użyciu posiada ekologiczne rozwiązania technologiczne, jest wolny od emisji CO₂ oraz przyjazny dla środowiska. Nurt ekologiczny w budownictwie zakłada wykorzystanie materiałów charakteryzujących się trwałością, niską szkodliwością dla zdrowia, a często możliwością ponownego wykorzystania oraz energooszczędnością.

Metodą badania budynku jest LCA, czyli Life Cycle Assessment – ekologiczna ocena cyklu życia materiału. Analiza cyklu życia materiału budowlanego polega na określeniu maksymalnego czasu użytkowania wyrobu oraz eliminacji wyrobów nie kwalifikujących się do ponownego przetworzenia i wpływających negatywnie na środowisko i zdrowie człowieka. Działaniem na rzecz poszanowania energii jest więc produkcja wyrobów o długim cyklu życia, a także wytwarzanie wyrobów nie mających ne-

gatywnego wpływu na mikro- i makroklimat wnętrza budynku, środowisko oraz zdrowie człowieka.

Najpopularniejsze i najczęściej wykorzystywane materiały ekologiczne stosowane w budownictwie to:

- szkło

Szkło jest niepalne i odporne na korozję. Jego produkcja nie wymaga zużywania dużych pokładów energii. Można je uszlachetniać, w wyniku czego uzyskuje się np. szkło piankowe wykorzystywane jako izolacja termiczna lub akustyczna. Jest to materiał dający możliwość nieskończonego przetwarzania. Stosowane jest do ociepleń ścian i stropów, a po odpowiednim zagęszczeniu daje możliwość rezygnacji z izolacji przeciwwodnej.

- drewno

Wysoką trwałość i ognioodporność zapewnia mu odpowiednie zabezpieczenie i obróbka. Niewielkie odpady drewna są proste w utylizacji. Drewno daje też znaczne możliwości w przypadku powtórnego wykorzystania. Duże drewniane bale można ponownie wykorzystać w całości lub jako drobne elementy. Drewno jest dobrym izolatorem akustycznym oraz stosowane jest przy wykończeniu elewacji, a także przy konstrukcjach szkieletowych. Pomaga również w zachowaniu optymalnej wilgotności w pomieszczeniach. Drewno zapewnia naturalną termoregulację, co sprawia, że latem pomieszczenia są chłodne, a zimą ciepłe i przytulne. Drewno jest jedynym materiałem charakteryzującym się tym, że podczas procesu produkcji materiału budowlanego emisja CO₂ jest mniejsza niż przetworzenie tego gazu w fazie wzrostu drzewa.

- cegła

Jest to materiał bezpieczny dla zdrowia i całkowicie naturalny. Ważną kwestią jest to, aby cegły były wykonane z użyciem tradycyjnych metod wypalania oraz z surowca wysokiej jakości, aby w glinie znajdowały się nie popioły, a trociny. Cegły charakteryzują się wysoką odpornością na czynniki atmosferyczne, niskimi wartościami promieniotwórczości naturalnej oraz wysoką izolacją cieplną i akustyczną. Dużą zaletą cegieł jest również możliwość ich ponownego wykorzystania. Najbardziej kosztowny i pracochłonny proces to oczyszczenie cegieł z zaprawy. Cegłę rozbiórkową używa się głównie na elewacje lub też wewnętrzne akumulacyjne ściany.

- glina

Istnieje wiele rozwiązań technologicznych, w których podstawowym materiałem jest glina. Jeden z nich to gliniane bloczki, które po wyschnięciu służą jako wypełnienie ścian w drewnianym szkielecie. Do wznoszenia ścian można zastosować również glinę ubijaną lub gotowe wyroby, jak np. cegły gliniane. Z gliny wymieszanej z cementem wykonuje się dachówki. Materiał ten wykorzystywany jest również do produkcji tynków i farb glinianych. Produkcja cegieł zużywa stosunkowo niewiele energii w porównaniu do innych technologii, co znacznie obniża koszty. Gliniane mury bardzo dobrze akumulują ciepło. Ściany wykonane z gliny charakteryzują się długoletnią trwałością, wysoką izolacją termiczną oraz akustyczną.

- słoma

Materiały te stosuje się głównie do wznoszenia ścian. Ściany wykonuje się z drewnianych żerdzi i ze sprasowanych bloczków słomy, które połączone są z niewypaloną gliną. Ściany tynkuje się specjalnymi tynkami, w skład których wchodzi między innymi glina. Słoma to całkowicie zdrowy i naturalny materiał. Prasowana charakteryzuje się bardzo dobrą izolacyjnością cieplną. Niskie koszty surowca oraz szybkość budowania są niewątpliwie dużymi zaletami tej technologii. Po rozbiórce słoma jest w pełni przetwarzalna. Ściany budynku wykonanego ze słomy i gliny tworzą zdrowy i przyjemny klimat wnętrza. Domy z glino-słomo-beli są trwałe, niepalne, a budowa i eksploatacja ogranicza do minimum emisję CO₂ i zużycie energii. Budynki zbudowane ze słomy i gliny są nie tylko proste i szybkie w wykonaniu, ale również stosunkowo tanie w porównaniu do innych technologii budowlanych.

- ocieplenie z gazet i szmat

Do produkcji materiału izolacyjnego, jakim są włókna celulozowe, wykorzystuje się papier gazetowy wysokiego gatunku wraz z dodatkiem soli borowych, w celu ochrony drewnianych konstrukcji przed rozwojem grzybów i pleśni, a także zabezpieczenia samego materiału przed biodegradacją. Dzięki temu w domu panuje korzystny mikroklimat i nie ma konieczności stosowania folii paroizolacyjnej. Do produkcji ocieplenia z włókien celulozowych stosuje się natomiast 80% surowca z recyklingu, a proces produkcji nie jest energochłonny. Izolacje celulozowe nie zawierają żadnych szkodliwych substancji,

a impregnacja związkami boru pozwala na uzyskanie właściwości przeciwogniowych i przeciwgrzybiczych. Takie izolacje znakomicie chronią przed dźwiękami powietrznymi oraz tłumią hałas. Są one stosowane jako izolacje termiczne poddaszy, sufitów oraz podłóg.

- tworzywa sztuczne jako surowce wtórne

Zmielone opakowania sklezione specjalnym lepiszczem, a następnie sprasowane w płyty to izolacja z przetworzonych butelek PET. Materiał ten jest stosowany nie tylko jako termoizolacja, ale również jako deskowanie tracone czy płyty drenażowe. Właściwości materiału są zbliżone do właściwości styropianu, jednak jego wytrzymałość jest znacznie wyższa.

Inne przykłady wykorzystania tworzyw sztucznych jako surowców wtórnych to między innymi wykładziny dywanowe wytworzone z recyklingu starej wykładziny, nawierzchnie na posadzki z granulatu z opon z recyklingu, profile okienne z recyklingu PCV, a także rynny, kratki trawnikowe, rury spustowe powstałe z materiałów z odzysku.

- konopie przemysłowe

Słoma konopna w 25-30% składa się z włókna, w którym jest ponad 70% celulozy. W wyniku przerobu mechanicznego ze słomy surowej otrzymuje się włókno zielenkowe, które wykorzystuje się jako wypełniacz do kabli, materiał izolacyjny, do wyrobów tapicerskich i mat. Z paździerzy natomiast powstają płyty budowlane. Olej konopny stosuje się do produkcji farb i lakierów, ponieważ ma on właściwości szybkoschnące i pozostawia na powierzchni elastyczną, cienką warstwę. Konopie stosować można jako materiał izolacyjny ścian, podłóg, dachów oraz stropów. Maty izolacyjne wykonane z konopi zapewniają nie tylko dobrą izolację termiczną, ale również akustyczną. Są też całkowicie wolne od substancji szkodliwych. Posiadają również właściwości pozwalające na regulację wilgoci, dzięki czemu w pomieszczeniach panuje przyjemny i zdrowy mikroklimat. Konopie wykorzystywane są również do produkcji Hempcrete – cegły z wapna i konopi. Wyroby te są odporne na ogień, posiadają również właściwości wodoodporne. Konopie nie przepuszczają ciepła, ale są materiałem przenikalnym, więc nie blokują dostępu powietrza, nie gniją i w 100% podlegają rozkładowi. Stosowane są jako materiał izolacyjny, do układania dachów, podłóg oraz wznoszenia ścian.

- len

Len składa się głównie z celulozy, dlatego też wyroby lniane charakteryzuje odporność na wiele szkodliwych czynników, między innymi na pleśń i gnienie. Z paździerzy lnu wykonuje się płyty i tworzywa drewnopochodne. Nasiona lnu wykorzystuje się natomiast do produkcji farb i olejów. Jednak len znajduje główne zastosowanie w przemyśle budowlanym jako płyty lub maty izolacji cieplnej. Powstają one w wyniku obróbki krótkich, lnianych włókien, połączonych tworzywami sztucznymi lub też klejami, np. skrobią ziemniaczaną. Izolacje lniane posiadają właściwości regulujące wilgoć i zdolność do poprawy mikroklimatu wewnątrz. Główne ich zalety to minimalny wkład energii podczas procesu produkcji oraz oszczędność surowców. Lniane płyty są dźwiękoszczelne, elastyczne i łatwe w obróbce, nie zmieniają swojej formy oraz mają bardzo dobrą izolacyjność cieplną i nie zawierają syntetycznych włókien i substancji. Płyty z lnu wykorzystuje się do izolacji podłóg, dachu, ścian oraz lekkich ścianek działowych. Nadają się jako izolacje w budownictwie drewnianym.

Oceną materiałów budowlanych, jak i całego budynku pod kątem jego właściwości zrównoważonych zajmują się inicjatywy i stowarzyszenia popularyzujące budownictwo ekologiczne i systemy certyfikacji.

Najbardziej znane systemy certyfikacji budynków to:

- LEED – Leadership in Energy and Environmental Design – polega na punktowej ocenie dostosowania właściwości użytych materiałów oraz całego budynku do wymagań stawianych przez budownictwo zrównoważone w wielu aspektach np. transportu, recyklingu itp.,
- BREEAM – BRE Environmental Assessment Method – stosując różnorodne kryteria, takie jak zanieczyszczenie środowiska, materiały, transport, jakość środowiska zewnętrznego, zużycie wody i energii, dokonuje się oceny ogólnego wpływu budownictwa na środowisko,
- DGNB Certification System – opiera się na ocenie względem różnych kryteriów w zakresie sześciu sektorów, takich jak jakość ekonomiczna, jakość ekologiczna, jakość techniczna, jakość socjalna, jakość procesu i jakość lokalizacji,
- Green Star – ocenia wpływ budynków na środowisko w 9 kategoriach,

- CASBEE – Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency – polega na pomiarze stosunku między jakością środowiskową obiektu, np. komfort termiczny, a obciążeniem środowiska np. globalne ocieplenie, efektywność energetyczna,
- GBP EU Green Buildings – obejmuje aspekt energooszczędności budynków, a jego celem jest ograniczenie produkcji CO₂ oraz zużycia energii elektrycznej (wysoki poziom energooszczędności: zużycie energii 25% niższe niż określają to normy krajowe).

Systemy oceny można określić jako próbę przybliżenia pewnych czynników i kierowanie się wytycznymi, aby uzyskać narzędzie adekwatne dla sektora budownictwa.

Zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego z dnia 19 maja 2010 roku, do końca grudnia 2020 roku wszystkie nowe budynki mają być budynkami niemal zeroenergetycznymi. W związku z tym konieczny jest stopniowy wzrost restrykcyjności wymogów oraz stopniowa klasyfikacja budynków w zależności od ilości zużywanej energii. Przy zachowaniu komfortu użytkowania oraz efektywności ekonomicznej należy dążyć do zmniejszenia kosztów ogrzewania budynku oraz zwiększyć jego energooszczędność.

Potrzeba zminimalizowania ciągle rosnących kosztów doprowadziła do powstania technologii budowy domów, która umożliwiłaby obniżenie rachunków i kosztów utrzymania budynku. Rozwiązania przyjazne dla środowiska posiadają zarówno zalety, jak i wady.

Do zalet budynków energooszczędnych można zaliczyć:

- minimalizację negatywnego wpływu na środowisko naturalne – wykorzystanie odnawialnych źródeł energii,
- wyższą wartość budownictwa ekologicznego na rynku, a tym samym zysk przy sprzedaży domu,
- duży komfort przebywania w budynku pod warunkiem właściwego usytuowania względem kierunków świata,
- minimalizację lub całkowitą likwidację strat ciepła,
- bardzo niskie koszty ogrzewania oraz eksploatacji budynku,
- redukcję do minimum kosztów użytkowania domu, przy odpowiednio dobranym ogrzewaniu i właściwym ociepleniu domu.

Wady budynków energooszczędnych to m.in.:

- wyższe koszty budowy domu energooszczędnego niż domu w technologii tradycyjnej,
- wysokie ceny dodatkowych instalacji energooszczędnych,
- wysoka cena projektu indywidualnego budynku,
- prosta bryła budynku niekoniecznie odpowiadająca gustom inwestorów preferujących wykusze, wnęki, tarasy czy ozdobne wykończenia,
- wysoka jakość materiałów skutkuje wzrostem ich ceny,
- precyzyjne pomiary, które generują dodatkowe koszty na zatrudnienie wyspecjalizowanej ekipy fachowców.

Pojęcie ekologiczności w budownictwie nadal skoncentrowane jest głównie na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii i uzyskaniu odpowiedniej efektywności energetycznej budynku. Zapomina się o tym, że są one budowane z materiałów o wysokiej energii, których procesy produkcyjne są niezwykle toksyczne dla środowiska naturalnego. Zagłębiając się w temat budownictwa ekologicznego, można dostrzec wiele alternatyw dla standardowych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych, które są przyjazne dla otoczenia, zróżnicowane w użyciu oraz dostępne cenowo.

Badania kompozytów wykonanych z konopi są częścią polityki zrównoważonego rozwoju w dziedzinie budownictwa. W celu obniżenia związanych z tym emisji gazów cieplarnianych i ich wpływu na klimat, konieczne jest, aby wybrać materiały budowlane o najniższym poziomie emisji gazów cieplarnianych. Z tego powodu w ostatnich latach szeroko badane były włókna naturalne, które mogą być stosowane jako alternatywa dla włókien węglowych, szkła, drewna lub tworzywa sztucznego, w wielu zastosowaniach kompozytów dla budownictwa [1].

Jednym z takich materiałów są konopie, które zostały wykorzystane jako materiał wypełniający kompozyt, w coraz większym stopniu wykorzystywane również w przegrodach budowlanych. Konopie są coraz częściej stosowane ze spoiwem wapiennym w konstrukcji ścian [2]. Konopie są szybko rozwijającą się rośliną jednoroczną, uprawianą przy użyciu różnych metod. Łodygi konopi znane jako hurds lub shives uważane były za odpady naturalne. Jednakże okazało się, że mogą one być wykorzystywane do pro-

dukcji ekologicznego materiału budowlanego. Inne rośliny mające zastosowanie w budownictwie to miskant, len, bawełna, juta oraz szybko rosnące drzewa, takie jak wierzba. Poprzez zmieszanie sioła na bazie wapna z paździerzami konopnymi – shives powstaje forma lekkiego betonu, który obecnie używany jest do budowy obiektów ekologicznych i energooszczędnych. Proporcje konopi i wapna można modyfikować, w zależności od wymaganych właściwości wyrobu. Przy zmieszaniu ich z niewielką ilością wody, uzyskuje się lepką substancję stosowaną do izolacji ścian, podłóg i dachów. Mieszanina wapna i konopi może być stosowana również jako materiał konstrukcyjny – wylewana w szalunkach lub też w formie bloczków i płyt. Coraz powszechniejszym zastosowaniem są również płyty dachowe lub sufitowe. Po wyschnięciu, materiał ten tworzy trwałą i mocny kompozyt zapewniający wodoodporną izolację cieplną. Powierzchnia ściany może mieć różne wykończenie w zależności od potrzeb. Przy budowie ścian zwykle stosuje się drewniany szkielet, który następnie wypełniany jest bloczkami lub masą kompozytu konopianego. Konstrukcje te mogą ulec pewnym zmianom w zależności od wymaganej grubości ściany, rodzaju okładziny zewnętrznej lub też użycia innych materiałów.

Wapno jest materiałem szeroko stosowanym w budownictwie i jest wytwarzane poprzez ogrzewanie węglanu wapniowego w piecu w temperaturze około 900°C. Konstrukcje konopno-wapienne są stosowane we Francji od 1990 roku [1,3], ale nie są powszechnie znane w Polsce.

Konstrukcja i wykonanie budynków z konopi zostały szczegółowo badane przez Bevan i Woolley [3]. Ich badania wykazały szereg korzyści, w tym: wyjątkowo wysoki poziom szczelności osiągnięty przez monolityczne konstrukcje ścienną; poprawę jakości powietrza ze względu na higroskopijne właściwości ściany; niższe zużycie energii cieplnej ścian konopno-wapiennych. Zazwyczaj konopie są stosowane jako materiał do izolacji ścian lub warstw izolacji podłóg i dachów.

Ze względu na dobre właściwości mechaniczne włókien, od niedawna zaobserwowano w literaturze naukowej wzrost zainteresowania włóknami naturalnymi w celu ich wykorzystania w budownictwie. Wielu badaczy zajmuje się szczególnie badaniem ich właściwości termoizolacyjnych. Najczęściej badane ma-

teriały to m.in.: juta [4], korek [5], kolby kukurydzy [6], siano [7], trzcina cukrowa [7], wełna skalna i wełna drzewna [8], celuloza niezwiązana [9], len [10,11], bele słomy [12] i konopie [3,10,11,13]. Podstawowymi składnikami ścianek włókien konopi są: celuloza, hemiceluloza, lignina i pektyny zwykłe [14].

Aktualnie zarejestrowane odmiany konopi włóknistych w Polsce i krajach Unii Europejskiej to: Białobrzeskie, Benico, Silesia, Tygra wyhodowane w Instytucie Włókien Naturalnych w Poznaniu zajmującym się kompleksowymi badaniami nad pozyskiwaniem i przerobem naturalnych surowców włóknistych oraz zielarskich. Odmiany te charakteryzują się wysoką wartością gospodarczą. Nie stanowią zagrożenia narkotycznego zgodnie z wymogami Ustawy o przeciwdziałaniu narkomanii i zawierają poniżej 0,2% 9THC.

Badania opisane w niniejszym raporcie wykazują możliwość wykorzystania konopi w budowie ścian konopno-wapiennych.

2.2 Procedura eksperymentalna

Receptura mieszanek i proces produkcji próbek

Do analiz zaprojektowano sześć receptur mieszanek. W laboratorium wykonano mieszanki składające się z: wapna, konopi, perlitu, cementu portlandzkiego, wody, metakaolinu, kopolimeru etylenu – octanu winylu jako domieszka plastyfikująco-wzmacniająca w ilości 1% w stosunku do masy spoiwa.

Skrócone nazwy kompozytów stosowanych w eksperymentach badawczych i proporcje ich dozowania przedstawiono w tabeli 2.1. Parametrami najbardziej istotnymi w tym przypadku wydają się być stosunki: konopi do spoiwa, czyli cementu + wapna + metakaolinu, w skrócie $K/(C + Wp + M)$ oraz perlitu do spoiwa, czyli cementu + wapna + metakaolinu $P/(C + Wp + M)$, których wartości zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Receptury kompozytów wapienno-konopnych

Material	Symbol, jednostka	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Wapno	Wp [kg/m ³]	106.38	139.21	147.37	153.17	176.77	189.70
Paździerz konopne	K [kg/m ³]	85.11	92.81	84.21	87.53	75.76	54.20
Perlit	P [kg/m ³]	42.55	46.40	63.16	65.64	101.01	135.50

Woda	W [l/m ³]	212.98	371.22	421.06	437.64	505.06	542.00
Cement	C [kg/m ³]	21.28	32.48	48.42	50.33	58.08	62.33
Metakaolin	M [kg/m ³]	10.64	13.92	14.74	15.32	17.68	18.97
Kopolimer etylenu octanu – winylu	E _{vc} [kg/m ³]	-	-	-	2.19	-	-
W/(C + Wp + M) *	[%]	1.54	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
K/(C + Wp + M) **	[%]	60	50	40	40	30	20
P/(C + Wp + M) ***	[%]	30	25	30	30	40	50

* $W/(C + Wp + M)$ = Woda / (Cement + Wapno + Metakaolin) w stosunku wagowym

** $K/(C + Wp + M)$ = Paździerz konopne / (Cement + Wapno + Metakaolin) w stosunku wagowym

*** $P/(C + Wp + M)$ = Perlit / (Cement + Wapno + Metakaolin) w stosunku wagowym

Konopie przemysłowe pochodzą z Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu. Paździerz charakteryzują się bardzo niskim ciężarem nasypowym (100-104 kg/m³), ze względu na ich silnie porowatą strukturę. Ponadto, włókno wykazuje wysoką zdolność do absorpcji wody: do 410% swojej masy, po upływie 48 godzin zanurzenia.

W pracy Stikute i in. [15] przeprowadzono granulometryczną analizę paździerzy odmiany Białobrzeskie w trzech wymiarach (długość, szerokość, grubość) przy użyciu suwmiarki o dokładności 0,02 mm. Badania pokazują, że grubość konopi wynosi 1,8-7 mm (max. 1,8-3,1 mm), długość 15-56 mm (maks. 15-25 mm), a szerokość 2,8-8 mm (max. 4,1 mm).

Zastosowane w badaniach własnych włókna konopne różniły się długością od opisanych powyżej w pracy [15], która wynosiła 15-150 mm. Parametry te są zależne od odmiany konopi, technologii rolniczej, gleby i warunków klimatycznych.

W kompozytach wapiennych zrezygnowano z klasycznego piasku, który zastąpiono perlitem ekspandowanym EP180 klasy II o granulacji 0-4 mm. Zawartość perlitu wynosiła od 25 do 50% w stosunku do ilości spoiwa (C + Wp + M). Wytrzymałość na ściskanie perlitu wynosi 0,14-0,40 MPa, ciężar nasypowy 60-80 kg/m³, a współczynnik przewodzenia ciepła 0,042 W/mK. Perlit powoduje istotne zmiany parametrów fizycznych i cech reologicznych wyrobów. Zwiększanie objętościowego udziału perlitu kosztem piasku powoduje obniżenie parametrów wytrzymałościowych. W zamian poprawia się termoizolacyjność, odporność ogniowa, lekkość wyrobów, odporność na podciąganie kapilarne, stopień zmniejszenia hałasu.

Jako spoiwo zastosowano mieszanę wapna hydratyzowanego, cementu portlandzkiego i metakaolinu.

Chemicznie wapno hydratyzowane to uwodniony tlenek wapnia (wapno palone). Wzór chemiczny wapna suchogaszzonego to Ca(OH)_2 . Potocznie wapno tego typu nazywane jest hydratem. Produkt końcowy powstaje poprzez „gaszenie” wapna palonego wodą, a następnie poddanie go procesowi separacji. Pozwala to na otrzymanie produktu wysokiej jakości, spełniającego wymagania normy PN-EN 459-1:2003. Wapno hydratyzowane charakteryzowało się ciężarem nasypowym $390\text{--}410\text{ kg/m}^3$. Skład chemiczny wapna był następujący: CaO – 95,5%, MgO – 0,5%, CO_2 – 2,1%, SO_3 – 0,1%, wolna woda – 1,5%.

Innym składnikiem spoiwa był cement portlandzki CEM I 42.5R o wysokiej wytrzymałości wczesnej. Posiada on takie cechy jak duże ciepło hydratacji, wysoka wytrzymałość wczesna oraz szybki przyrost wytrzymałości. Dzięki temu nadaje się nie tylko do produkcji prefabrykatów, ale również przygotowywania betonów BWW, komórkowych i innych. Cement portlandzki CEM I 42.5R miał następujące parametry techniczne: powierzchnię właściwą $3985\text{ cm}^2/\text{g}$, początek wiązania 190 min, koniec wiązania 250 min, wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach – 30,4 MPa, wytrzymałość na zginanie po 2 dniach – 5,41 MPa, wodożądność 28%, straty prażenia 3,44% wag. Badania cementu portlandzkiego CEM I 42.5R przeprowadzono według norm polskich PN-EN 197-1:2002 i PN-B-19707:2003.

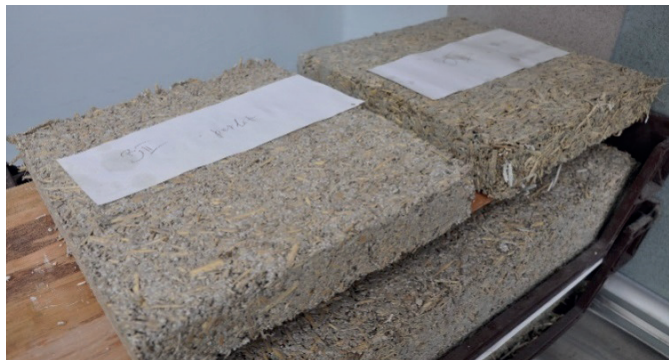
Metakaolin dodawano w ilości 0,1% wag. wapna o składzie chemicznym: Al_2O_3 – 40-42%, SiO_2 – 51-53%, K_2O i Na_2O – 1,3-1,5%, związki Fe, Ti, Mg – 1,3-1,5%. Metakaolin to naturalny, drobnoziarnisty dodatek wypełniający do betonu oraz betonowych wyrobów budowlanych. Stanowi składnik poprawiający urabialność, tiksotropowość i stałość konsystencji projektowanej mieszanki. Głównym składnikiem domieszki jest metakaolinit – wysoko reaktywny dodatek pucolanowy, który uzyskuje się w wyniku kalcynacji kaolinu. Metakaolinit zawiera aktywne formy tlenków glinu i krzemu, które wchodzi w reakcje chemiczne z wolnym wodorotlenkiem wapnia Ca(OH)_2 i powstają produkty w postaci uwolnionych glinianów, krzemianów i glinokrzemianów wapnia, pod względem składu i struktury zbliżone do produktów hydratacji cementu portlandzkiego. Metakaolinit

przyczynia się do uzyskania wysokiej wytrzymałości wczesnej i gęstej matrycy oraz zapewnia specjalną reaktywność. Wzrasta również wodożądność bez utraty parametrów wytrzymałościowych. Zaprawa z tym dodatkiem jest bardziej urabialna i formowalna.

Ponieważ podstawowym czynnikiem ograniczającym stosowanie proszków dyspersyjnych i innych dodatków chemicznych są wysokie koszty tych materiałów, jako domieszkę plastyfikująco-wzmacniającą zastosowano kopolimer etylenu – octanu winylu w jednym typie kompozytów. Dodatek kopolimeru poprawia wiele właściwości użytkowych zapraw i betonów, polepsza urabialność zaprawy, ułatwia jej nakładanie i obróbkę, zwiększa retencję wody w zaprawie i zmniejsza szybkość jej odparowywania, polepsza odporność na ścieranie, znacznie poprawia przyczepność do wszystkich podłoży budowlanych, poprawia elastyczność zaprawy. Do badań zastosowano specjalny rodzaj proszku redyspergowanego zawierającego dodatek hydrofobowy, który pozwolił na produkcję kompozytów o większej odporności na działanie wody i mrozu. Dodatek polimeru kształtuje korzystnie wiele właściwości zapraw cementowo-polimerowych, tworzy cienkie warstwy pokrywające ziarna hydratyzującego cementu, powodując zmniejszenie szybkości hydratacji cementu. Dotyczy to zwłaszcza tworzenia się krystalicznych produktów hydratacji portlandytu i ettryngitu. Pomimo zmniejszenia szybkości hydratacji cementu wytrzymałość zapraw z dodatkiem polimeru jest na każdym etapie dojrzewania wyższa niż w przypadku zapraw niemodyfikowanych polimerami.

Na drodze doświadczalnej ustalono optymalny wskaźnik $W/(C + Wp + M)$ na poziomie 2,0. Stosunek ten w pierwszej mieszance K1 przyjęto na poziomie 1,54, jednak ze względu na słabą urabialność wskaźnik ten zwiększono do 2,0 i 2,5. Przy poziomie $W/(C + Wp + M) = 2,5$ dochodziło do rozsegregowania składników w formach, w związku z tym do dalszych badań przyjęto wskaźnik równy 2,0.

Metoda mieszania oraz kolejność dozowania poszczególnych składników mieszanki nie jest ściśle określona w literaturze. W publikacjach odnaleźć można opisane różne sposoby przygotowywania mieszanki. Możliwe jest wstępne namoczenie paździerzy konopnych, a następnie dodanie ich do wymieszanego spoiwa lub odwrotnie, dodawanie suchych paździerzy do płynnego, wymieszanego spoiwa.



Rys. 2.1. Próbkki do badań współczynnika przewodzenia ciepła

W niniejszych badaniach przygotowanie próbek polegało na wymieszaniu materiałów wiążących z wodą, a następnie stopniowym dodawaniu płynnego spoiwa do wstępnie wymieszanych składników wypełniacza, podczas ciągłego mieszania. Mieszanie trwało do chwili, gdy paździerze konopne i inne wypełniacze zostały otoczone zaczynem, a mieszanka uzyskała jednorodną konsystencję. Następnie przystąpiono do formowania próbek. Ze względu na obecność i kształt lekkiego wypełniacza, zagęszczanie mieszanki pod wpływem siły ciężkości jest niemożliwe. Próbkki wobec tego zagęszczano ręcznie poprzez ubijanie ich drewnianym kołkiem o średnicy około 30 mm. Po ułożeniu mieszanki w formach zagęszczano ją dodatkowo na stole wibracyjnym. Próbkki sześciennie oraz prostopadłościennie w jednej warstwie, natomiast próbkki walcowe w dwóch warstwach. Przez okres 3 dni próbkki dojrzewały w formach zabezpieczone przed utratą wody.



Rys. 2.2. Próbkki do badań wytrzymałości na zginanie

Kompozyt po rozformowaniu nie był stwardniały, lecz plastyczny. Powodem jest przeważająca obecność spoiwa powietrznego oraz duża zawartość wody w kompozycie. Próbki dojrzewały w warunkach powietrzno-suchych w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $60 \pm 5\%$ przez 25 dni, aż do czasu wykonania badań (rys. 2.3).



Rys. 2.3. Próbkki do badań nasiąkliwości oraz wytrzymałości na ściskanie

2.3 Właściwości kompozytów

Gęstość objętościowa i nasiąkliwość

Badanie gęstości objętościowej kompozytów wykonano zgodnie z normą EN 12390-7:2001 *Badania betonu Część 7 Gęstość betonu*. Do badania użyto po 10 próbek sześciennych z każdej serii, o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm. Próbki o znanej objętości wysuszono do stałej masy oraz zważono na wadze laboratoryjnej, wyliczając gęstość objętościową, często nazywaną również gęstością pozorną. Jest ona wyrażona poprzez stosunek masy próbki do jej objętości. Gęstość objętościową kompozytu określono za pomocą wagi hydrostatycznej.

Wykonane czynności:

- zważenie próbek na wadze analitycznej, odnotowanie ich masy w stanie suchym z dokładnością do 0,1% masy próbki $m_d(\text{kg})$,
- zmierzenie płaszczyzn próbek z dokładnością 0,5% wymiarów – po 3 pomiary na każdej z płaszczyzn,
- wyliczenie objętości każdej z próbek $V(\text{m}^3)$,

- Określenie gęstości objętościowej ze wzoru:

$$\rho_b = \frac{m_d}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Losowe ułożenie paździerzy konopnych oraz ręczny sposób zagęszczania siłą ściśle nieokreśloną powodowały wytworzenie w materiale tzw. makroporów (wolnych przestrzeni pomiędzy paździerzami) rozmieszczonych nieregularnie. Sposób układania mieszanek oraz siła zagęszczania mają wyraźny wpływ na gęstość objętościową stwardniałego kompozytu.

Badanie nasiąkliwości przeprowadzono według normy PN-88/B-06250 *Beton zwykły* na dziesięciu próbkach sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm z każdej serii. Badanie polegało na kontrolowaniu przyrostu masy próbek nasączanych wodą, aż do uzyskania stanu całkowitego nasączenia. Próbkę została całkowicie zanurzone w wodzie. Z uwagi na niską gęstość objętościową kompozytów oraz wypór wody, konieczne było przyłożenie obciążenia próbek.

Okres całkowitego nasączenia próbek wodą trwał, w zależności od receptury, około 7 dni. Warto podkreślić, że wysoka porowatość oraz chłonność wykorzystanych wypełniaczy przyczyniła się do wzrostu nasiąkliwości nawet o 60% już w pierwszych 5 sekundach po zanurzeniu próbek w wodzie.

Współczynnik przewodności cieplnej

W celu określenia współczynnika przewodzenia ciepła użyto aparatu płytowego. W tym celu zostało przygotowanych 10 płytek z każdego typu kompozytu (rys. 1). Wymiary każdej płytki były następujące: 300 x 300 x 50 mm. Badania przeprowadzono na próbkach o 3% wilgotności, co zostało uzyskane poprzez składowanie materiału w pomieszczeniu o wilgotności względnej równej 70%, przez 4 tygodnie.

Wykonano następujące czynności:

- ustawienie aparatu płytowego zgodnie z instrukcją,
- umieszczenie badanej próbki pomiędzy płytami grzejnymi aparatu,
- ustawienie próbki centrycznie względem płyt i ścian aparatu,
- wykonanie kalibracji płyt, zanotowanie odczytanej przez aparat grubości próbki,

- rozpoczęcie właściwego badania współczynnika przewodności cieplnej.

Badanie uznawano za zakończone, jeżeli wartość współczynnika przewodności cieplnej λ (W/mK) ustabilizowała się i nie ulegała zmianie z dokładnością do 0,001. Obliczono również wartość średnią współczynnika przewodzenia ciepła z n próbek zgodnie ze wzorem:

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{ (W/mK)}$$

Odchylenie standardowe i współczynnik zmienności wyników obliczano według wzorów. Nie powinien on przekraczać 10%.

$$s_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda)^2}{n-1}} \text{ (W/mK)}$$

$$\nu_{\lambda} = \frac{s_{\lambda}}{\lambda} 100 \text{ (\%)}$$

Przy oznaczaniu współczynnika przewodności cieplnej kompozytu, zastosowano dwie temperatury: 20°C na płycie grzejnej i 0°C na płycie chłodzącej. Średnia temperatura wynosiła 10°C. Zasada działania polega na przepuszczeniu przez próbkę określonego strumienia ciepła oraz zmierzeniu temperatur powstałych przy ustalonym przepływie ciepła na powierzchniach doprowadzenia i odprowadzenia ciepła. Aparat współpracował z komputerem i programem WinTherm32v3, który rejestrował wyniki pomiarów.

Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie kompozytów przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12390-3 *Badania betonu Część 3 Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania*. Do badania użyto 10 próbek sześciennych o wymiarach 100 x 100 x 100 mm oraz 150 x 150 x 150 mm na każdą recepturę (rys. 2.3). Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie próbek wykonano po osiągnięciu przez próbki wytrzymałości średniej na ściskanie po 28 dniach. Badanie zostało przeprowadzone przy pomocy hydraulicznej prasy Controls o zakresie obciążenia 0-100 kN, przyjmując najniższy dopuszczalny przyrost siły ściskającej 50 N/s.

Wykonano następujące czynności:

- zmierzenie płaszczyzn obciążanych (dolna i górna płaszczyzna obciążana) z dokładnością 0,5% wymiarów – po 3 pomiary na każdej z płaszczyzn,
- obliczenie wartości średnich z 6 pomiarów w każdym kierunku na obciążanych ściankach zgodnie ze wzorami z dokładnością wyników końcowych do 0,5%:

$$x_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 x_i \text{ (mm)} \quad , \quad y_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 y_i \text{ (mm)}$$

- obliczenie wartości średniej pola obciążanej ścianki z zaokrągleniem wyniku do 1% według wzoru:

$$A_c = x_m y_m \text{ (mm}^2\text{)}$$

- oczyszczenie próbek z zanieczyszczeń (kurz, drobiny kompozytu) oraz nadmiaru wilgoci,
- oczyszczenie płyt dociskowych prasy z zanieczyszczeń,
- umieszczenie próbki na dolnej płycie prasy tak, aby obciążenie przykładane było w płaszczyźnie formowania próbki,
- wycentrowanie próbki tak, aby obciążenie przykładane było osiowo,
- włączenie prasy hydraulicznej i rozpoczęcie badania.

Prędkość głowicy ściskającej podczas badania wynosiła 5mm/min. Próbkę obciążano ze stałą prędkością 50N/s. Badanie prowadzono do momentu zniszczenia próbki w maszynie wytrzymałościowej (rys. 2.4). Z otrzymanej wartości siły niszczącej $F(N)$ oraz pola przekroju próbki $A_c(\text{mm}^2)$ obliczono wytrzymałość na ściskanie $f_c(\text{N/mm}^2 = \text{MPa})$ według wzoru:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ (MPa)}.$$

Obliczono również wartość średnią wytrzymałości z n próbek zgodnie ze wzorem:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \text{ (MPa)}.$$

(a)



(b)



Rys. 2.4. Badanie wytrzymałości na ściskanie kompozytów wapienno-konopnych:
a) kompozyt K1, b) kompozyt K6

Odchylenie standardowe i współczynnik zmienności wyników obliczono według wzorów.

$$s_{fc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \quad (\text{MPa})$$

$$v_{fc} = \frac{s_{fc}}{f_{cm}} 100 \quad (\%)$$

Wytrzymałość na zginanie

Wytrzymałość na zginanie kompozytów przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12390-5 *Badania betonu Część 5 Wytrzymałość na zginanie próbek do badania*. Do badania użyto 10 próbek prostokątnych o wymiarach 100 x 100 x 500 mm na każdy rodzaj kompozytu (rys. 2.2). Oznaczenie wytrzymałości na zginanie próbek wykonano po 28 dniach dojrzewania. Badanie zostało przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej Controls (rys. 2.5). Próbkę obciążono siłą umieszczoną centralnie (zginanie 3-punktowe). Rozstaw podpór wynosił 300 mm. Przed badaniem i podczas badania wykonano czynności i kroki pomiarowe analogiczne do badania wytrzymałości na ściskanie.



Rys. 2.5. Badanie wytrzymałości na zginanie

Badanie przeprowadzano do momentu zniszczenia próbki w maszynie wytrzymałościowej. Z otrzymanej wartości siły niszczącej oraz wymiarów poprzecznych próbki obliczono wytrzymałość na zginanie według wzoru:

$$f_{cf} = \frac{3Fl}{2d_1 d_2^2} \text{ (MPa)}$$

gdzie:

f_{cf} – wytrzymałość na zginanie (MPa),
 F – maksymalne obciążenie przy zniszczeniu (N),
 l – rozstaw wałków podpierających (mm),
 d_1, d_2 – poprzeczne wymiary próbki (mm).

Obliczono również wartość średnią wytrzymałości z n próbek zgodnie ze wzorem:

$$f_{cfm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cfi} \text{ (MPa)}.$$

Odchylenie standardowe s_{fcf} i współczynnik zmienności wyników v_{fcf} obliczono według wzorów.

$$s_{fcf} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cfi} - f_{cfm})^2}{n-1}} \text{ (MPa)}$$

$$v_{fcf} = \frac{s_{fcf}}{f_{cfm}} 100 \text{ (\%)}$$

Dynamiczny moduł sprężystości

Badanie dynamicznego modułu sprężystości przeprowadzono na cylindrach o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm zachowując zalecenie, że w przypadku próbek cylindrycznych długość, L powinna być co najmniej dwukrotnie większa niż średnica próbek, d .



Rys. 2.6. Badanie dynamicznego modułu sprężystości

Wyznaczanie modułu sprężystości próbek przeprowadzono metodą dynamiczną na podstawie wykonanych pomiarów częstotliwości rezonansowych przy pomocy miernika częstotliwości C311-R (rys. 2.6). Badanie przeprowadzono przy napięciu wyjściowym około 1 V na podstawie zaleceń ASTM C666 i ASTM C215. W teście akcelerometr został zainstalowany i dołączony do systemu zbierania danych. Jako źródła impulsu użyto małej kulki stalowej o średnicy 12 mm. Uderzano w górną powierzchnię próbki walcowej. Akcelerometr mierzył przejście fali ultradźwiękowej przez próbkę, a dane uzyskano za pomocą programu komputerowego. W programie otrzymano wykresy amplitudy i częstotliwości fal ultradźwiękowych. Z wykresu amplitudy częstotliwości odczytano wartość szczytową, która wskazywała wartość częstotliwości rezonansowej kompozytu.

Z ogólnych rozważań na temat rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w ciałach stałych izotropowych wynika, że istnieje związek pomiędzy ich prędkością i gęstością oraz stałymi sprężystości ośrodka. Stąd dynamiczny moduł sprężystości poszczególnych próbek wyliczono ze wzoru:

$$E_{DM} = 4L^2 n^2 \rho \text{ (GPa)}$$

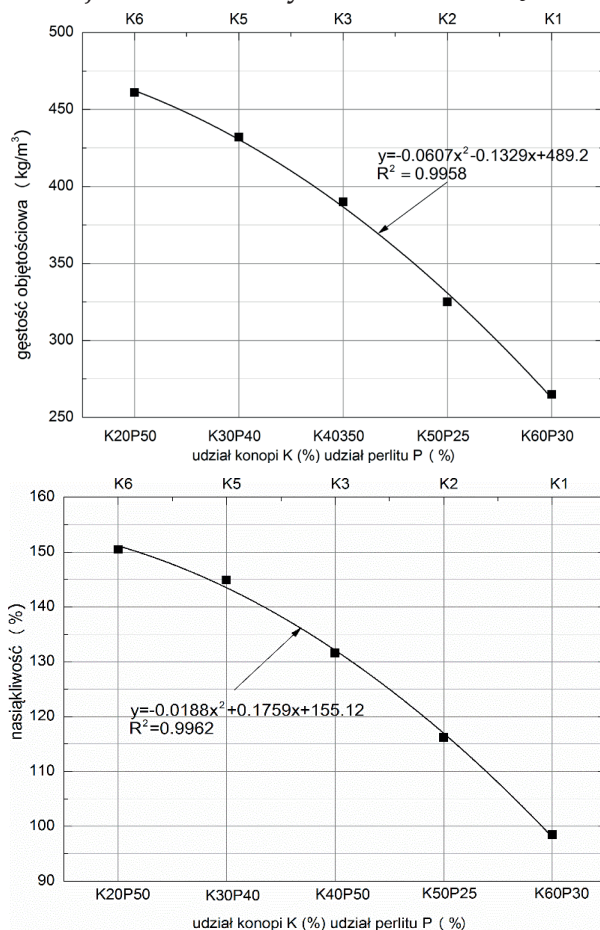
gdzie: L – długość próbki (m), n – częstotliwość (kHz), ρ – gęstość objętościowa próbki (kg/m³).

2.4 Wyniki i dyskusja

Właściwości fizyczne

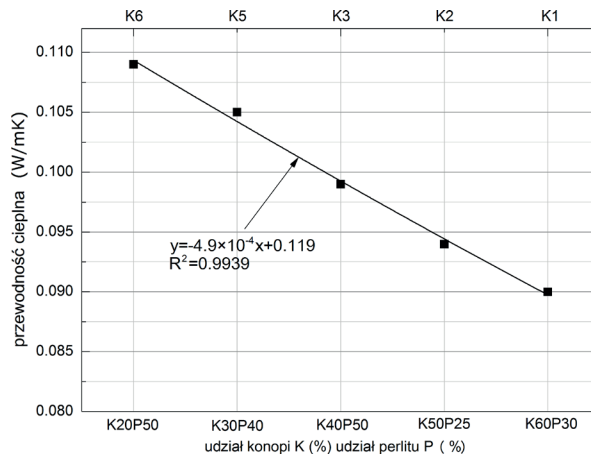
Właściwości fizyczne przebadanych kompozytów wapienno-konopnych zaprezentowano na rys. 2.7.

Wyniki pokazują, że ilość włókien konopnych wpływa istotnie na wzrost nasiąkliwości oraz spadek gęstości kompozytów (rys. 2.7). Spadek gęstości wynosi od 7 do 42,4% i wzrasta odpowiednio z ilością dodawanych włókien konopnych od 30 do 60%, w porównaniu do próbek K6 o najmniejszej zawartości włókien konopnych równej 20%. Z przeprowadzonych badań wynika, że wytworzone kompozyty posiadają gęstość od 265,8 do 461,2 kg/m³. Dodatek włókien w ilości 60% powodował wzrost nasiąkliwości o 35%. Nasiąkliwość próbek jest bardzo wysoka i waha się od 98,5 do 150,5%.



Rys. 2.7. Gęstość objętościowa i nasiąkliwość badanych kompozytów

Stwierdzono, że w miarę wzrostu nasiąkliwości i spadku gęstości kompozytów następuje stopniowy spadek przewodności cieplnej od 0,111 do 0,094 W/mK (rys. 2.8). Aby spełnić warunki techniczne [16], jakim powinny odpowiadać ściany budynków mieszkalnych odnośnie współczynnika przenikania ciepła $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, ściana z kompozytu K1 o największej zawartości włókien konopnych (60%) i najmniejszym współczynniku przewodności cieplnej λ powinna mieć grubość 0,37 m. Ustalono, że analogiczna ściana jednowarstwowa w budynku energooszczędnym powinna mieć grubość 0,47 m, a w budynku pasywnym odpowiednio 0,63 m. W przypadku pozostałych kompozytów K3-K6 grubość ściany powinna odpowiednio wynosić 0,44 m, 0,55 m i 0,73 m.



Rys. 2.8. Współczynnik przewodności cieplnej kompozytów

Badania opisane w pracy [17] wykazały, że niezależnie od składu materiału wyniki wskazują, że końcowy produkt miał niską gęstość pozorną ($300 < \rho < 600 \text{ kg/m}^3$) i wysoką porowatość przekraczającą 65%.

Wykazano także, że przewodność cieplna w warunkach otoczenia w 23°C i przy 50% wilgotności względnej wahała się od 0,07 do 0,20 W/mK [18], a następnie od 0,069 do 0,115 W/mK [19].

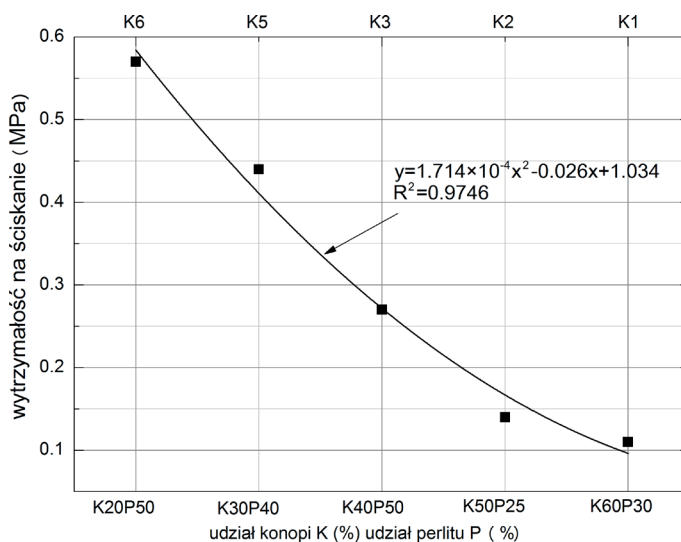
Ze względu na małą gęstość i wysoką porowatość paździerzy konopnych, kombinacja konopi i skrobi tworzy materiał budowlany o właściwościach, które różnią się od tych z konwencjonalnych betonów lub kompozytów wapiennych bez włókien naturalnych. Uzyskano materiał o niższej gęstości i niższej przewodności cieplnej. Według badań przeprowadzonych przez Li, Gacoin i Mai [20],

przewodność cieplna kompozytów konopnych wynosiła od 0,067 do 0,085 W/mK. Wartość ta zmniejsza się znacznie w zależności od proporcji paździerzy konopnych.

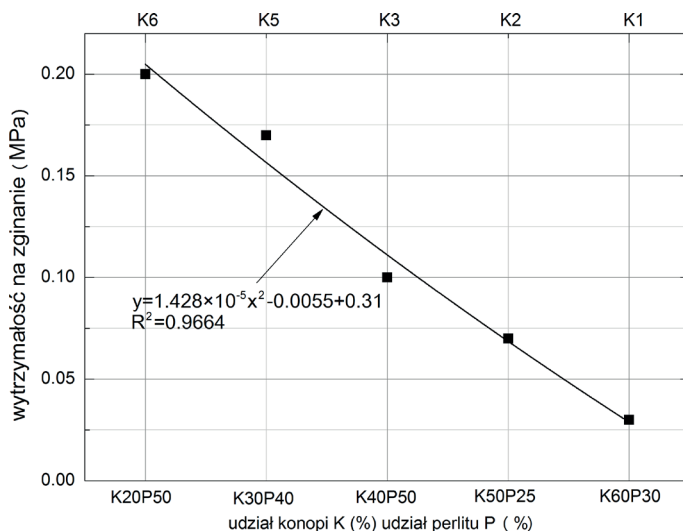
Wyniki odnoszące się do gęstości i przewodności cieplnej uzyskanych w badaniach własnych są porównywalne z wynikami innych badaczy. Niemniej, wyniki badań dotyczące nasiąkliwości są zdecydowanie wyższe niż uzyskane w badaniu [20] i wahają się od 6,30 do 25,81%, przy 40% zawartości paździerzy konopnych.

Właściwości wytrzymałościowe

Właściwości wytrzymałościowe sześciu kompozytów wapienno-konopnych przedstawiono na rys. 2.9 i rys. 2.10. Mechaniczne parametry zależne są przede wszystkim od składów poszczególnych mieszanek kompozytowych.



Rys. 2.9. Średnia wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach

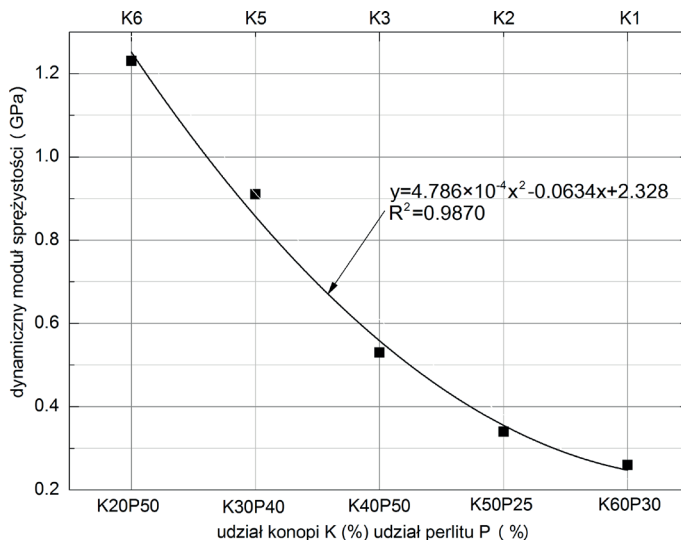


Rys. 2.10. Średnia wytrzymałość na zginanie po 28 dniach

Zaobserwowano, że im większe zastosowano wskaźniki $K/(C + W_p + M)$ i $P/(C + W_p + M)$, tym wytrzymałość na ściskanie i zginanie proporcjonalnie spadała. Im mniejsza zawartość wapna hydratyzowanego i cementu, tym parametry wytrzymałościowe są niższe, a zatem można stwierdzić niekorzystny wpływ dodatku włókien konopnych na wytrzymałość kompozytów. Wytrzymałość na ściskanie jest 6,5 razy większa, wytrzymałość na zginanie prawie 7 razy większa dla kompozytu (K6) o najmniejszych wskaźnikach $K/(C + W_p + M)$ i $P/(C + W_p + M)$ w stosunku do kompozytu K1. Należy zwrócić uwagę, że chemiczna domieszka wzmacniająca czyli kopolimer etylenu octanu – winylu, zastosowana w kompozycie K4 spowodowała ponad dwukrotny wzrost parametrów wytrzymałościowych.

Wytrzymałość na ściskanie kompozytów wytworzonych z paździerzy konopnych i skrobi [20] w zakresie od 0,8 do 1,5 MPa uzależniona jest od składu i gęstości mieszanki betonowej. Wytrzymałość na zginanie uzyskana w testach wahała się od 0,04 do 0,10 MPa. Jednakże, kompozyty wytwarzane z paździerzy konopnych (40% obj.), wapna hydratyzowanego (24% obj.), cementu portlandzkiego (0; 2,5; 5% obj.), zeolitu (0; 2,5; 5% obj.), MgO – cementu (0, 29% obj.), wody (31% obj.), uzyskały wytrzymałość na ściskanie w zakresie od 0,23-1,89 MPa. Najwyższą wytrzymałość na ściskanie stwierdzono w przypadku, gdy ilość MgO – cementu wynosiła 29% obj., bez użycia cementu portlandzkiego, zeolitu i wapna hydratyzowanego [19].

Dynamiczny moduł sprężystości E_{DM} jest jedną z najważniejszych właściwości oceniających cechy materiału kompozytowego [17]. Na podstawie otrzymanych wyników (rys. 2.11) można zauważyć niekorzystny wpływ dodatku włókien naturalnych na dynamiczny moduł sprężystości.



Rys. 2.11. Średni dynamiczny moduł sprężystości po 28 dniach

Wraz ze wzrostem dodatku włókien od 20 do 60% moduł dynamiczny stopniowo spada i jest 5 razy mniejszy niż w przypadku kompozytu K1. Prawie dwukrotny wzrost modułu odnotowano w przypadku zastosowania domieszki kopolimeru etylenu octanu – winylu, w kompozycie K4.

Gomes i in. [21] przeprowadzili badania na kilku rodzajach zapraw, składających się głównie z gliny i innych składników, tj.: piasku, uwodnionego wapna hydratyzowanego, naturalnego wapna hydraulicznego, cementu portlandzkiego, cementu rzymskiego i naturalnych paździerzy. Zaprawy zawierały również dodatek 0%, 5%, 10% lub 15% środka wiążącego i 0% lub 5% paździerzy konopnych. Wykorzystano cztery rodzaje spoiwa: uwodnione wapno hydratyzowane, naturalne wapno hydrauliczne, cement portlandzki CEM II/BL 32.5 N i cement romański. Uzyskano następujące wyniki: moduł dynamiczny od 0,214 GPa (10 lub 15% cementu portlandzkiego, 5% paździerzy) do 1,239 GPa (10% cementu i romańskiego, 5% paździe-

rzy), wytrzymałości na zginanie od 0,06 do 0,25 MPa (10% cementu romańskiego i 5% paździerzy), wytrzymałość na ściskanie od 0,11 do 0,58 MPa. Najwyższe parametry wytrzymałościowe uzyskiwano przy eliminacji wapna z zaprawy i z zawartością cementu, zwłaszcza 10% cementu romańskiego i 5% z dodatkiem paździerzy [17].

Podobną zależność potwierdzono w badaniach prezentowanych w pracy, a mianowicie przy zwiększonej ilości cementu portlandzkiego wzrastały parametry wytrzymałościowe kompozytów wapienno-konopnych.

Testy na tynkach na bazie zeolitu, lekkiego kruszywa, żużla wielkopieczowego, cementu portlandzkiego i wapna hydratyzowanego opisane w [22] wykazały, że kopolimer etylenu – octanu winylu (VA), jest ważnym dodatkiem, który wpływa na właściwości mechaniczne tynków renowacyjnych. Zaprawy o najwyższej zawartości polimeru (0,9% wagowych) charakteryzowały się wyższymi parametrami wytrzymałościowymi, najwyższą odpornością na mróz i odpornością na krystalizację soli rozpuszczalnych w wodzie.

Podobną prawidłowość zauważono również w prezentowanych w raporcie badaniach. Kopolimer etylenu – octanu winylu, zastosowany w kompozycie K4 spowodował ponad dwukrotny wzrost parametrów wytrzymałościowych.

2.5 Podsumowanie

Proponowane receptury kompozytów z odmian konopi uprawianych w Polsce i na bazie spoiw wapiennych wykazują właściwości fizyczne podobne do współczesnych materiałów izolacyjnych lub energooszczędnych materiałów i mogą być stosowane w połączeniu z ramami nośnych konstrukcji ściennych. Inne ważne aspekty opracowanych kompozytów to niższe koszty produkcji w stosunku do tradycyjnych materiałów budowlanych.

Właściwości kompozytów zależą w dużej mierze od ich składu i zagęszczania w czasie wytwarzania. Termiczna charakterystyka kompozytów wapienno-konopnych wykazała potencjalnie bardzo dobre właściwości, które umożliwiają ich wykorzystanie w wielu zastosowaniach w sektorze budowlanym. Jednakże, dodanie konopi prowadzi do uzyskania relatywnie niskiej wytrzymałości na ściskanie i wytrzy-

małości na zginanie oraz niskiego dynamicznego modułu sprężystości kompozytów w porównaniu z tradycyjnymi materiałami budowlanymi. Dynamiczne właściwości mechaniczne włókien wzmocnionych kompozytów zależą od różnych czynników, takich jak obciążenie włókien i orientacja włókien w kompozycie. Dodatek kopolimeru etylenu-octanu winylu jako domieszki plastyfikująco-wzmacniającej spowodował znaczny wzrost parametrów wytrzymałościowych kompozytów K4 i poprawił ich urabialność. Na wzrost tych parametrów wpłynęła również nieznacznie większa zawartość wapna (o 3 kg/m³) i cementu (o 0,70 kg/m³) w stosunku do składu kompozytu K3. Jednak decydujący wpływ na poprawę parametrów wytrzymałościowych miało zastosowanie kopolimeru. Stwierdzono zasadność stosowania tego typu domieszek w produkcji kompozytów konopnych.

Przyszłe badania mogłyby koncentrować się na wykorzystaniu dodatków, powodujących zwiększenie wytrzymałości mechanicznych kompozytów konopnych, aby możliwe było wyeliminowanie szkieletu drewnianego jako konstrukcji nośnej ściany.

Bibliografia

- [1] Asprone D., Durante M., Prota A., Manfredi G.: Potential of structural pozzolanic matrix – hemp fiber grid composites, *Construction and Building Materials* 25, 2011, p. 2867–2874.
- [2] Ip K., Miller A.: Life cycle greenhouse gas emissions of hemp–lime wall constructions in the UK, *Resources, Conservation and Recycling* 69, 2012, p. 1–9.
- [3] Bevan R., Woolley T.: Hemp lime construction – a guide to building with hemp lime composites, Bracknell, UK: IHS BRE 2008.
- [4] Singh B., Gupta M., Tarannum H.: Jute sandwich composite panels for building applications, *Journal Biobased Materials Bioenergy* 4:4, 2010, p. 397–407.
- [5] Silva S.P., Sabino M.A., Fernandes E.M., Correlo V.M., Boesel L.F., Reis R.L.: Cork: properties, capabilities and applications, *International Materials Reviews* 50:6, 2005, p. 345–65.
- [6] Paivaa A., Pereira S., Sá A., Cruz D., Varum H., Pinto J.: A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards, *Energy and Buildings* 45, 2012, p. 274–9.
- [7] Kodah Z.H., Jarrah M.A., Shanshal N.S.: Thermal characterization of foam-cane (Quseab) as an insulant material, *Energy Conversion and Management* 40:4, 1999, p. 349–67.

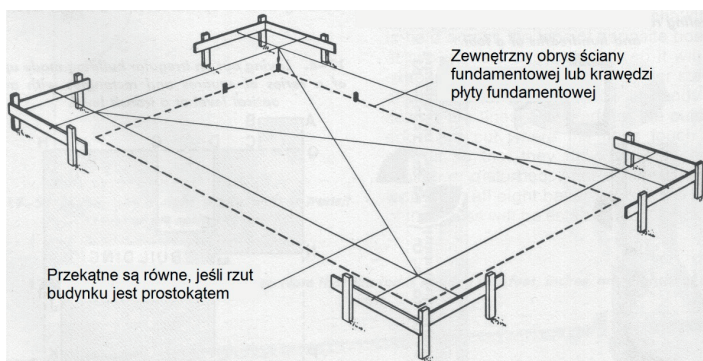
- [8] Ren Q., Li J.Z., Lu Z.Y.: Studies on the wood fiber-rock wool composites, Beijing Linye Daxue Xuebao/Journal of Beijing Forestry University 29:2, 2007, p. 161–4.
- [9] Nicolajsen A.: Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material, Building and Environment 40:7, 2005, p. 907–14.
- [10] Dalmay P., Smith A., Chotard T., Sahay-Turner P., Gloaguen V., Krausz P.: Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum, Journal of Materials Science and Technology 45:3, 2010, p. 793–803.
- [11] Kymäläinen H.R., Sjöberg A.M.: Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, Building and Environment 43:7, 2008, p. 1261–9.
- [12] Ashour T., Georg H., Wu W.: Performance of straw bale wall: a case of study, Energy and Buildings 43:8, 2011, p. 1960–7.
- [13] Arnaud L., Gourlay E.: Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concrete, Construction and Building Materials 28:1, 2012, p. 50–6.
- [14] Summerscales J., Dissanayake N.P.J., Virk A.S., Hall W.: A review of bast fibres and their composites. Part 1 – Fibres as reinforcements, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 41, 2010, p. 1329–1335.
- [15] Stikute A., Kukle S., Shakhmenko G.: Ecological Materials for Frame Housing 6, 2011, p. 43–48.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z późniejszymi zmianami.
- [17] Reddy M.I., Srinivasa Reddy V.: Dynamic Mechanical Analysis of Hemp Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 3:9, 2014, p. 410–415.
- [18] Collet F.: Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de Génie Civil à faibles impacts environnementaux. Ph.D. thesis. INSA de Rennes 2004 [in French].
- [19] Stevulovaa N., Kidalovaa L., Cigasovaa J., Junaka J., Sicakovaa A., Terpakovaa E.: Lightweight Composites Containing Hemp Hurds, Procedia Engineering 65, 2013, p. 69–74.
- [20] Li A., Gacoin A., Mai T., H.: Performance of hemp-starch concrete composite, Advanced Materials Research 724-725, 2013, p. 1531–1534.
- [21] Gomes M.I., Diaz Gonçalves T., Faria P.: Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers, Proceeding of the 1st International Conference on Rammed Earth Conservatio, Mileto C., Vegas F. and Cristini V. Valencia, Spain, 2012, p. 21–23.
- [22] Barnat-Hunek D., Klimek B., Franus W.: The influence of zeolite additive on the physical and mechanical properties of renovation plasters, Izolacje 9, 2014, p. 58–64.

ROZDZIAŁ III

WYTYCZNE TECHNOLOGICZNE DO REALIZACJI BUDYNKÓW EKOLOGICZNYCH I ENERGOOSZCZĘDNYCH Z KOMPOZYTÓW WYPEŁNIAJĄCYCH SZKIELET DREWNIANY

3.1 Wykonanie fundamentów

Przy projektowaniu fundamentów wymagana jest wiedza na temat warunków gruntowych na terenie przeznaczonym pod budowę, umożliwiająca sporządzenie dokumentacji geotechnicznej zawierającej m.in. parametry geotechniczne gruntów, przekroje geotechniczne, w których zaznaczony jest przebieg warstw gruntu, rodzaj gruntów oraz informacje o poziomie wody gruntowej. Fundament powinien być posadowiony na nośnym gruncie. Nie można wykonywać fundamentów na gruntach organicznych oraz nasypach, gdyż pod wpływem obciążenia znacznie odkształcają się, co może spowodować osiadanie fundamentów i całego budynku. Nieodpowiednim rodzajem gruntów pod budowę są też grunty spoiste nieściśliwe, nieprzepuszczalne oraz uplastyczniające się pod wpływem działania wody – glina, ił, piaski gliniaste.



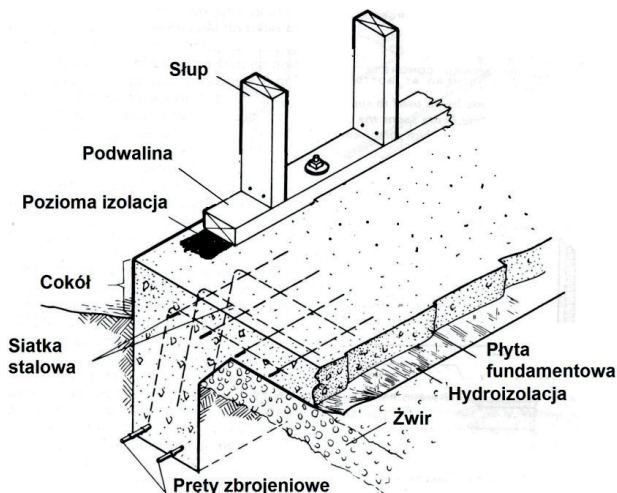
Rys. 3.1. Wyznaczanie krawędzi fundamentów za pomocą ław kierunkowych [1]

Fundamenty w budynkach opartych na technologii wypełnienia ścian mieszanką kompozytu wapienno-konopnego z reguły wykonuje się technologiami tradycyjnymi. W zależności od rodzaju projektu lub gruntów w miejscu posadowienia mogą to być ławy fundamentowe lub płyty betonowe. Z uwagi jednak na mały ciężar konstrukcji budynku wykonanej ze szkieletu drewnianego wypełnionego lekką mieszanką wapienno-konopną, przekroje elementów fundamentu mogą być mniejsze niż np. w budynkach wznoszonych technologią tradycyjną ze ścianami murowanymi. Wiąże się to z mniejszym nakładem robót ziemnych oraz mniejszym zużyciem betonu w ogólnym zestawieniu materiałów budowlanych.

Budowę należy rozpocząć się od wytyczenia krawędzi lub osi fundamentów. Tę czynność powinien wykonać geodeta z uprawnieniami. Najdokładniejsza jest metoda ław kierunkowych (drutowych) przedstawiona na rys. 3.1. Skrzyżowanie sznurków umieszczonych na ławach kierunkowych tworzy narożnik ławy. Za pomocą zawieszonego sznurka z lekkim obciążeniem punkt ten zostaje przeniesiony na grunt.

3.2 Płyta fundamentowa

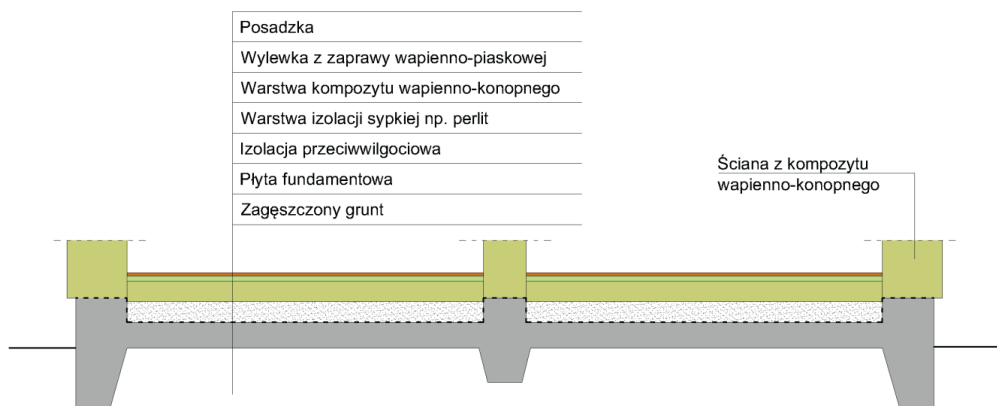
Prostym i często stosowanym rozwiązaniem jest fundament płytowy (rys. 3.2). Po wykonaniu wykopu o odpowiedniej głębokości należy dokładnie zagęścić grunt na całej powierzchni, a następnie ułożyć warstwę dobrze drenującego kruszywa, np. żwiru. Wzdłuż ścian konstrukcyjnych powinno wykonać się wzmocnienie, tzn. zwiększyć grubość przekroju płyty w postaci żeber oraz zastosować zbrojenie podłużne.



Rys. 3.2. Drewniana konstrukcja ścienna na płycie fundamentowej [1]

Wykonanie płyty fundamentowej eliminuje konieczność wykonywania głębokich wykopów, zwłaszcza że fundament przewidziany pod lekką konstrukcję szkieletową z wypełnieniem nie będzie przenosił dużych obciążeń. Zaleca się ułożenie szkieletu na wysokości co najmniej 30 cm powyżej poziomu otaczającego terenu, wykonując cokół z materiału odpornego na działanie wody.

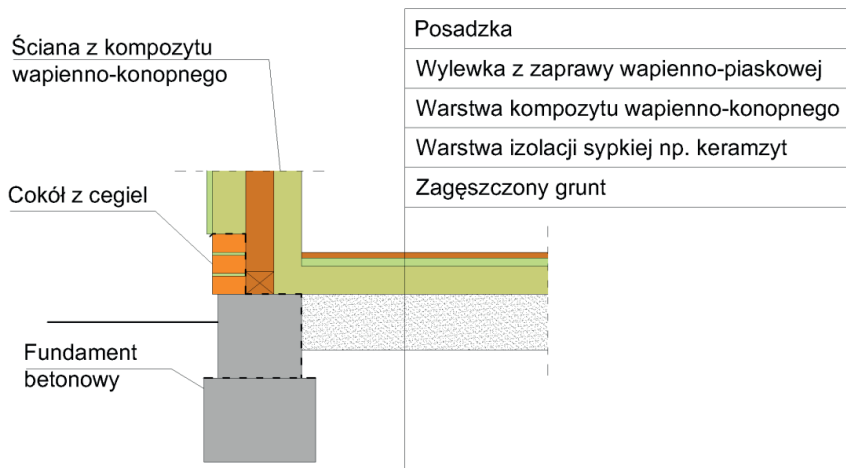
Decydując się na izolację podłogi na gruncie mieszanką kompozytu wapienno-konopnego zapewnić należy odizolowanie materiału od płyty betonowej, aby odciąć drogę kapilarnego podciągania wody z gruntu. Kompozyt powinien mieć możliwość swobodnego wysychania, więc dobrą metodą jest umieszczenie mieszanki nie bezpośrednio na folii, lecz na warstwie sypkiego materiału, np. perlitu, keramzytu (rys. 3.3). Wykonując izolację termiczną podłogi na gruncie należy mieć na uwadze obecne wymagania cieplne dotyczące granicznego współczynnika przenikania ciepła równego $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ [2]. Warstwa kompozytu powinna być dobrze zagęszczona, a proporcja spoiwa do paździerza konopnego powinna być większa niż w przypadku ścian. Przed położeniem posadzki (np. z desek) należy wyrównać powierzchnię kompozytu wapienno-konopnego poprzez wykonanie wylewki z zaprawy wapiennej lub wykonać warstwę z zaprawy samopoziomującej. Jest to uzależnione od wyboru wierzchniej warstwy posadzki w użytkowym pomieszczeniu.



Rys. 3.3. Schemat płyty fundamentowej wraz z warstwami podłogi na gruncie

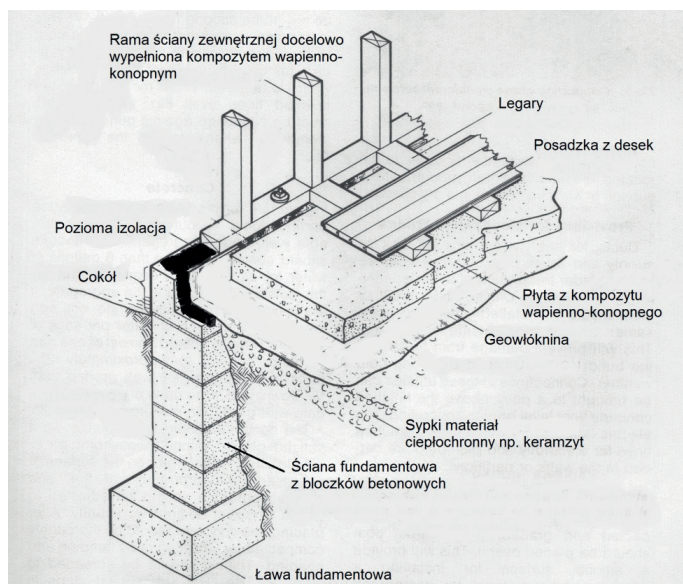
3.3 Ławy fundamentowe

Kolejnym możliwym rozwiązaniem fundamentów jest wykonanie ław fundamentowych ze ścianami fundamentowymi np. z bloczków betonowych (rys. 3.4, rys. 3.5). Do ściany fundamentowej przymocowana jest drewniana rama stanowiąca konstrukcję ściany. Na styku drewnianej konstrukcji (podwaliny) z betonową ścianą fundamentową należy ułożyć poziomą izolację wodochronną. Ważne jest, aby ściana z kompozytu wapienno-konopnego, podobnie jak każda wykonana z organicznych materiałów, powinna być wykonana na cokole zabezpieczającym materiał przed wodą deszczową zbierającą się wokół budynku. Przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rys. 3.4. Możliwe jest wykonanie cokołu z cegieł, kamieni lub innych materiałów odpornych na działanie wody, ustawionych na ścianie fundamentowej. Jeśli cokół ustawiony jest od strony zewnętrznej, pełni on funkcję wyłącznie ochronną. Pomiędzy cokołem a kompozytem wapienno-konopnym należy ułożyć hydroizolację. Cokół może stanowić również element konstrukcyjny, wtedy drewniana konstrukcja ściany jest mocowana bezpośrednio do niego.



Rys. 3.4. Ściana wykonana z kompozytu wapienno-konopnego posadowiona na betonowej ławie fundamentowej z cokołem wykonanym z cegieł

W przypadku ław fundamentowych, podłogę wykonuje się na zagęszczonym gruncie. Warstwa leżąca na gruncie powinna być wykonana z materiału, który jednocześnie izoluje termicznie, zapewnia drenaż, a także nie podciąga kapilarnie wody gruntowej – możliwe jest zastosowanie keramzytu (rys. 3.4). Opcjonalnie na warstwie keramzytu można ułożyć geowłókninę, aby oddzielić kompozyt wapienno-konopny. Warstwa kompozytu powinna być bardziej zagęszczona niż materiał ścienny. Górna powierzchnia warstwy powinna być wyrównana za pomocą zaprawy wapiennej, która będzie stanowiła podłoże pod materiał podłogowy, np. deski na legarach (rys. 3.5). Grubości dwóch warstw izolacji termicznej powinny być dostosowane do wymagań cieplnych ($U \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) [2].



Rys. 3.5. Drewniana konstrukcja szkieletowa posadowiona na ławach oraz podłoga na gruncie wykonana z kompozytu wapienno-konopnego

Chcąc zmniejszyć wpływ środowiskowy budynku możliwe jest również wykonanie fundamentów innych niż betonowe, np. kamienne – siatki wypełnione kamieniami (gabiony) lub wykopy wypełnione kamieniami wapiennymi na kształt ław fundamentowych. Techniki fundamentowania z wykorzystaniem kamieni są dobrym połączeniem z technologią opartą na wykonywaniu ścian z materiałów organicznych, kamienie tworzą pewnego rodzaju drenaż, umożliwiając wysychanie dolnych partii ściany, a także zabezpieczają przed podciąganiem kapilarnym wody gruntowej do ścian. Są to jednak rozwiązania nietypowe i wymagają wielu analiz.

3.4 Technologia wznoszenia ścian z wykorzystaniem kompozytu wapienno-konopnego

Kompozyt wapienno-konopny wykorzystywany jest głównie jako wypełnienie ścian w konstrukcji szkieletowej drewnianej w postaci monolitycznej. Po wykonaniu fundamentów przystąpić należy do ustawienia oraz zamocowania drewnianego szkieletu. Konstrukcja drewniana zwykle mocowana jest za pomocą łączników metalowych do fundamentów betonowych lub kamiennych,

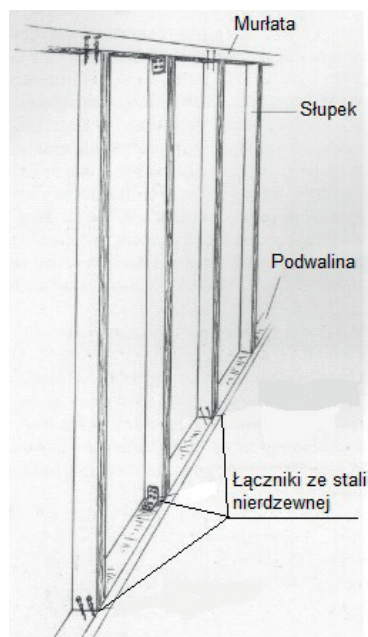
pamiętając o wykonaniu izolacji pomiędzy elementami drewnianymi a betonowymi (rys. 3.6).



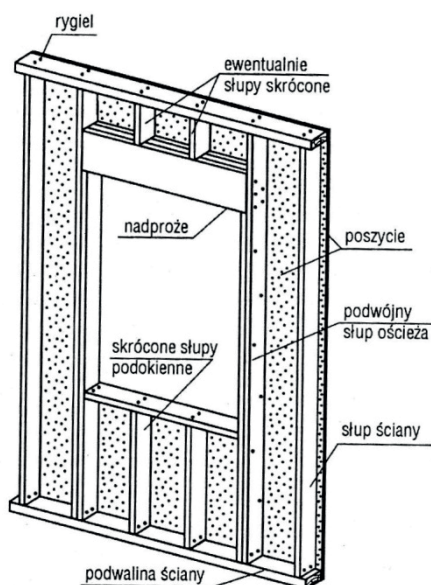
Rys. 3.6. Połączenie ramy drewnianej z fundamentem [3]

Konstrukcję ściany może stanowić rama drewniana, złożona z podwaliny, która zamocowana jest do fundamentu np. śrubami zatopionymi w betonowej ścianie fundamentowej, drewnianych słupów rozstawionych co 40-60 cm oraz belki zwieńczającej ramę (murlata), na której będzie opierała się konstrukcja dachu lub stropu (rys. 3.7).

W miejscach otworów w ścianach, które zwykle są szersze niż standardowy rozstaw słupów należy wzmocnić słupy (ustawienie podwójnych słupów), na których osadzona będzie rama okienna lub ościeżnica drzwiowa. Nadproże wykonuje się z belek drewnianych o przekroju prostokątnym lub z kilku desek połączonych ze sobą, tworzących belkę (rys. 3.8). Jeśli natomiast nadproże będzie znacznie obciążone stropem lub dachem, można rozważyć wykonanie nadproża z drewnianej belki dwuteowej. Na rys. 3.5 przedstawiono usztywnienie szkieletu poszyciem, które może stanowić jednocześnie deskowanie tracone do układania mieszanki wapienno-konopnej. Dokładniej zostało to omówione w dalszej części pracy.



Rys. 3.7. Schemat ramy drewnianej [3]



Rys. 3.8. Nadproże wykonane w ramie drewnianej [4]

Otwór okienny od spodu ograniczony jest również belką poziomą łączącą dwa słupy ościeża. Belka ta powinna wspierać się na skróconych słupach podokiennych (rys. 3.8). W miejscu, w którym ma zostać

wykonany otwór, należy zamocować deskowanie, które umożliwi wykonanie ościeży z kompozytu wapienno-konopnego (rys. 3.9)

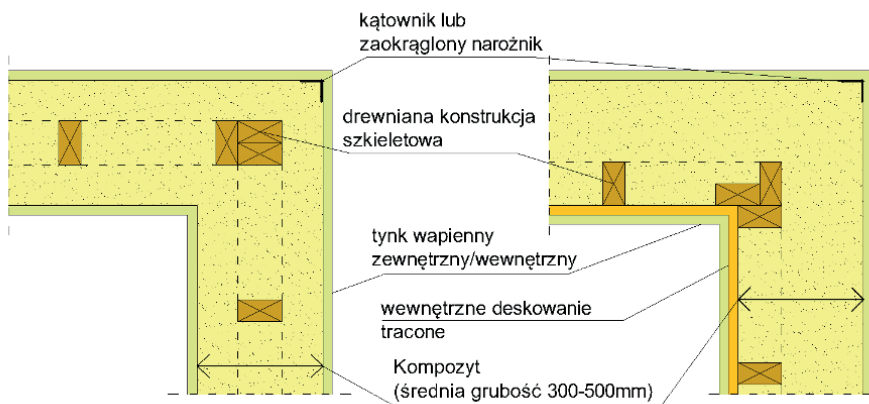


Rys. 3.9. Przygotowane deskowanie umożliwiające pozostawienie otworu okiennego (metoda ręcznego układania mieszanki) [5]

Projektując szkielet budynku należy unikać projektowania trudno dostępnych miejsc, gdzie utrudnione będzie dokładne ułożenie mieszanki wapienno-konopnej. Należy również przewidywać sposób mocowania deskowania, a także wyposażenia budynku, np. umywalki lub ciężkich mebli wiszących na ścianie.

3.5 Lokalizowanie ramy drewnianej

Przegrody można konstruować różnymi sposobami, różniącymi się przede wszystkim umiejscowieniem drewnianej ramy ściennej. Najczęściej spotykanymi są – umieszczenie drewnianej ramy centralnie lub po stronie wewnętrznej (rys. 3.10).



Rys. 3.10. Schemat ściany szkieletowej z wypełnieniem kompozytem na bazie konopi [6]

3.6 Centralne umieszczenie ramy drewnianej względem grubości ściany

Pierwszym ze wskazanych sposobów jest centralne ustawienie ramy drewnianej w grubości ściany (rys. 3.11). Przekrój słupów w budownictwie parterowym może wynosić 50 x 100 mm, natomiast w budownictwie dwukondygnacyjnym 50 x 150 mm [3]. Są to zrealizowane przykłady, jednak dokładne wymiary powinny być dobrane w zależności od specyfiki projektu. W narożnikach natomiast zaleca się zwiększenie przekroju słupa, np. poprzez ustawienie dwóch słupów bezpośrednio przy sobie. W celu ułożenia mieszanki w ścianie montowane jest tymczasowe deskowanie. Za pomocą śrub regulowana i ustawiana jest wymagana grubość ściany. Śruby są mocowane do drewnianych słupów oraz osłonięte plastikową rurką, aby możliwe było usunięcie śrub po zdemontowaniu deskowania. Otwory powstałe po tych połączeniach zaślepią się następnie kompozytem wapienno-konopnym. Rozwiązanie to ma kilka zalet. Przede wszystkim drewno dookoła otoczone jest kompozytem wykazującym odczyn zasadowy, a więc konstrukcja jest zabezpieczona przed korozją biologiczną. Kompozyt zabezpiecza konstrukcję również przed działaniem ognia – po przyłożeniu do stwardniałego kompozytu palnika z płomieniem o temperaturze ponad 1500°C i jego oddziaływaniu, zwęgleniu ulega jedynie powierzchnia w miejscu przyłożenia płomienia [7]. Ze statycznego punktu widzenia, obciążenie ciężarem własnym jest równomiernie i symetrycznie rozłożone względem szkieletu, a zagęszczony, stward-

niały kompozyt stanowi usztywnienie w kierunku podłużnym, co eliminuje konieczność stosowania wiatrownic. Jednak w zależności od specyfiki konstrukcji oraz decyzji konstruktora, w przypadku dużych obciążeń bocznych zalecane są usztywnienia w kierunku przekątnym, np. w postaci desek o przekroju 150 x 25 mm (rys. 3.12), ale mogą być też ściągi ze stali nierdzewnej. Usztywnienia te mocować powinno się po ustawieniu szkieletu.



Rys. 3.11. Rama drewniana ustawiona centralnie względem grubości ściany [8]



Rys. 3.12. Usztywnienie ścian w postaci zastrzałów [3]

3.7 Umieszczenie drewnianej ramy po wewnętrznej stronie ściany

Kolejnym sposobem konstruowania ściany jest umieszczenie drewnianej ramy po wewnętrznej stronie ściany (rys. 3.13). W tym przypadku od wewnętrznej strony możliwe jest zastosowanie deskowania traconego przytwierdzające je do szkieletu. Paroprzepuszczalność deskowania i kompozytu powinny być porównywalne aby umożliwić wysychanie ścian. Płyty deskowania powinny być również odporne na niszczące działanie wody, a więc po wchłonięciu wody powinny ją odparować bez wpływu na swoje właściwości. Mogą to być płyty z włókna drzewnego, płyty MgO lub np. mata z wikliny lub trzciny. Od strony zewnętrznej stosowane jest deskowanie tymczasowe na takiej samej zasadzie jak w poprzednim, omawianym przypadku. W takim rozwiązaniu obciążenie ciężarem własnym nie jest symetrycznie rozłożone względem słupów, a środek ciężkości ściany nie znajduje się w miejscu słupa. Istnieje więc ryzyko odspajania się kompozytu od drewnianej konstrukcji na zewnątrz. Dobrym rozwiązaniem jest zamocowanie drewnianych łąt prostopadłe do słupów co 50-60 cm wzdłuż wysokości ramy (rys. 3.14). Zapewnią one lepsze przewiązanie kompozytu z drewnianą ramą. Zaletą umieszczenia ramy od wewnątrz jest możliwość zamocowania w pomieszczeniach na ścianach ciężkich urządzeń, takich jak szafki czy umywalki. W innych przypadkach konieczne jest wykonanie dodatkowej konstrukcji podczas wykonywania ściany, specjalnie do tego celu.



Rys. 3.13. Rama drewniana ustawiona przy wewnętrznej powierzchni ściany z deskowaniem traconym [9]

Możliwe jest też umieszczenie ramy drewnianej po zewnętrznej stronie albo ramy podwójnej po wewnętrznej stronie, ramy przenoszącej obciążenia z dachu, a także umożliwiającej przymocowanie płyt deskowania traconego, natomiast po zewnętrznej stronie – ramy o mniejszych przekrojach jej elementów, umożliwiającej zamocowanie elewacji. Obie ramy łączone są przewiązkami z OSB lub sklejki. Rozwiązanie takie umożliwia łatwiejsze zamocowanie deskowania, ale jest bardziej pracochłonne, jeśli chodzi o samo wykonanie konstrukcji.

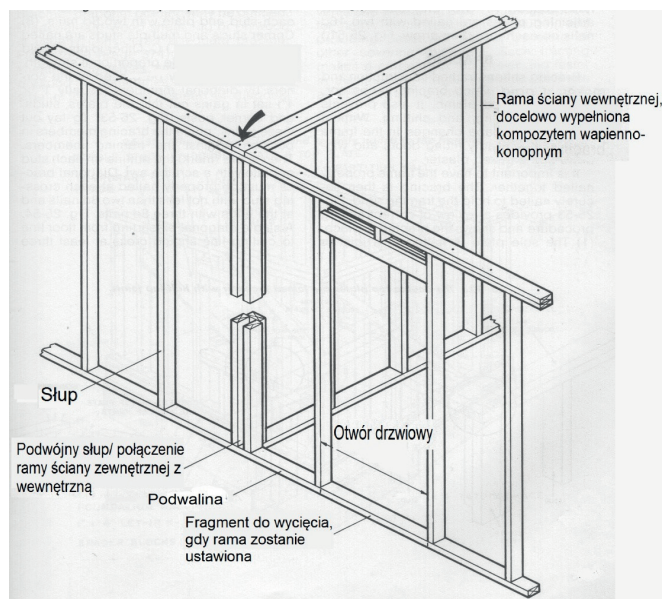


Rys. 3.14. Łaty przybite do ramy drewnianej, zapewniające lepsze związanie kompozytu ze szkieletem [3]

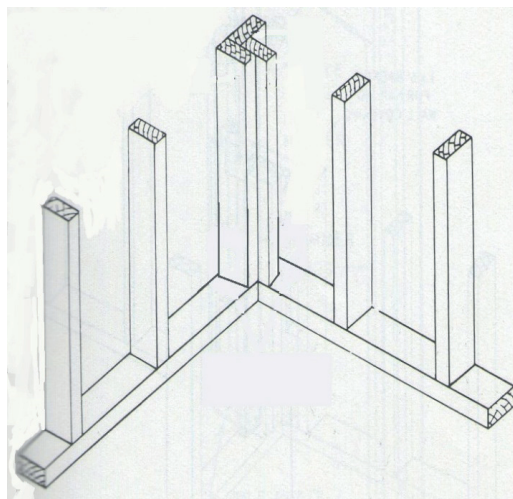
3.8 Rozwiązania ściany wewnętrznej oraz naroża

Konstrukcja ściany wewnętrznej jest analogiczna do zewnętrznej. Stanowi ją rama w postaci słupów, podwaliny oraz belki górnej, stanowiącej wieniec. Górna belka powinna być wzmocniona, np. w postaci złączonych za pomocą gwoździ dwóch krawędziaków o przekroju słupa (rys. 3.15). Wzmocnienie jest zalecane ze względu na obciążenia od dachu lub stropu, jakie może ta belka przenosić. W miejscu połączenia ramy ściany wewnętrznej z zewnętrzną również zaleca się wykonać słup podwójny w ramie ściany zewnętrznej.

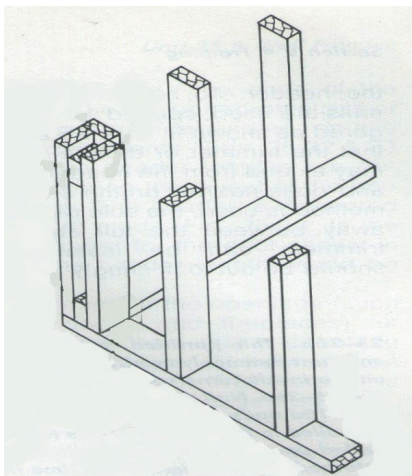
Naroża ścienne w konstrukcjach szkieletowych drewnianych można wykonywać stosując różne rozwiązania, jednak zawsze miejsce to powinno być wzmocnione w postaci np. 3 słupów o przekrojach, które przyjęto dla ścian. Na rysunkach 3.16 i 3.17 przedstawiono najprostsze i najczęściej stosowane rozwiązania naroży.



Rys. 3.15. Połączenie ramy ściany zewnętrznej z wewnętrzną [1]



Rys. 3.16. Rozwiązanie naroża ściennego w budynku o drewnianej konstrukcji szkieletowej [1]



Rys. 3.17. Rozwiązanie naroża ściennego w budynku o drewnianej konstrukcji szkieletowej [1]

3.9 Techniki aplikacji mieszanki wapienno-konopnej

Układanie mieszanki z kompozytu w deskowaniu przy małych realizacjach, takich jak domy jednorodzinne, zazwyczaj wykonywane jest ręcznie. Deskowanie ustawiane jest na wysokość około 50-60 cm. Mieszanka rozprowadzana jest w deskowaniu tworząc warstwę około 10 cm, po czym zagęszczana jest drewnianym ubijakiem, przy szczególnym zwróceniu uwagi na dokładne wypełnienie miejsc trudnodostępnych oraz narożników. Mieszanka powinna być ubijana lekko, by nie spowodować pogorszenia parametrów termoizolacyjnych przegrody. Czynność ta jest powtarzana, aż całkowicie wypełni się ustawione deskowanie, po czym należy odczekać pewien czas, aż kompozyt wstępnie zwiąże, tak by był w stanie przenieść swój ciężar własny.

Jest to zależne od receptury kompozytu, ale zwykle jest to możliwe już po 4 godzinach. Istotne jest właściwe dobranie spoiwa. Wapno hydratyzowane jako spoiwo powietrzne wiąże bardzo powoli w wyniku karbonatyzacji, natomiast w przypadku wznoszenia ścian ważne jest wczesne wiązanie ze względów technologicznych, aby można było układać kolejne warstwy ściany. Dlatego spoiwo wapienne powinno być modyfikowane dodatkami hydraulicznymi lub pucolanowymi, które przyspieszą wiązanie. Po zdemontowaniu pierwszej warstwy deskowania, przemieszcza

się je wyżej, po czym aplikować można kolejną partię mieszanki (rys. 3.18). Deskowanie tymczasowe może być wykonywane ze sklejek, płyt OSB, a także z płyt z tworzywa sztucznego.



Rys. 3.18. Tymczasowe deskowanie ściany [9]



Rys. 3.19. Mechaniczna metoda układania mieszanki [10]

Mieszanka może być również podawana mechanicznie za pomocą agregatu (rys. 3.19). Metoda ta jest rzadziej stosowana ze względu na konieczność posiadania odpowiedniego sprzętu, a także opłacalność, która jest widoczna przy większych realizacjach niż domy jednorodzinne. W myśl tej metody, sprężonym powietrzem podawane są na sucho paździerz i spoiwo wapienne, a przy samym wylocie z agregatu mieszane są z wodą podawaną drugim przewodem, przez co kontakt mieszanki z wodą jest krótki. W związku z tym proces wysychania jest krótszy niż w przypadku tradycyjnego mieszania i układania. Ze względu na podawanie mieszanki pod ciśnieniem, jest ona w pewien sposób zagęszczona.

Aby spełnić obecne wymagania cieplne obowiązujące w Polsce stawiane ścianom zewnętrznym, ich współczynnik przenikania ciepła powinien być nie większy niż $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ [2]. Możliwe jest wykonanie przegrody stosując jedynie kompozyt wapienno-konopny jako wypełnienie, bez konieczności stosowania dodatkowych warstw ocieplenia. Wymagana grubość ściany, która będzie w stanie spełnić w/w wymagania zależy od zastosowanego kompozytu, jego gęstości oraz receptury. Jednak zwykle grubość takiej ściany powinna mieścić się w przedziale 300-500 mm. Przekraczanie grubości 500, a nawet 400 mm nie jest wskazane z uwagi na znaczne zwiększenie czasu wysychania ściany. Przy konieczności stosowania grubości większych niż 400 mm lepszym rozwiązaniem będzie pozostanie grubości wynoszącej 400 mm, natomiast chcąc zwiększyć izolacyjność termiczną ściany zaleca się dołożenie warstwy izolacji termicznej z wełny konopnej na drewnianym ruszcie.

Poniżej, w tabeli 3.1, przedstawiono 4 przykładowe kompozyty o różnej przewodności cieplnej oraz podano wymagane grubości ścian celem uzyskania odpowiednich współczynników przenikania ciepła.

Tabela 3.1. Uzyskane współczynniki przenikania ciepła dla ścian wykonanych z różnych kompozytów wapienno-konopnych przy różnych grubościach ściany

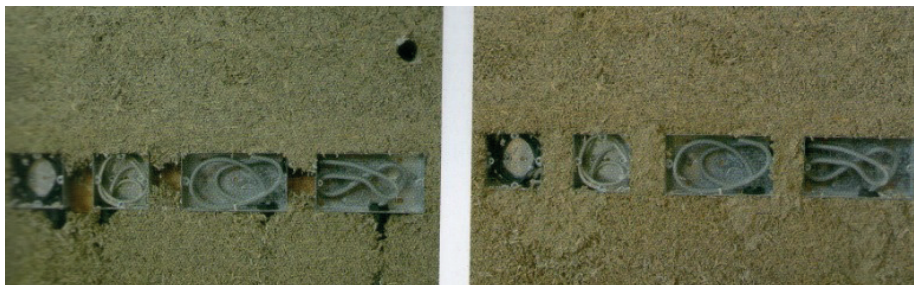
Grubość [mm]	$\lambda=0,08 \text{ W/mK}$	$\lambda=0,085 \text{ W/mK}$	$\lambda=0,09 \text{ W/mK}$	$\lambda=0,095 \text{ W/mK}$
	U [$\text{W/m}^2\text{K}$]			
300	0,25	0,27	0,29	0,30
350	0,22	0,23	0,25	0,26
400	0,19	0,21	0,22	0,23
450	0,17	0,18	0,19	0,20
500	0,16	0,17	0,17	0,18

3.10 Przeprowadzenie przewodów przez ściany

W ścianach wykonanych w technologiach ekologicznych istotne jest zwrócenie szczególnej uwagi na miejsce oraz sposób umieszczenia przewodów. Najprostszym sposobem przeprowadzenia przewodów elektrycznych przez ściany jest ułożenie ich po wykonaniu konstrukcji, ale przed ułożeniem mieszanki. Pozwoli to uniknąć późniejszego kucia bruzd w ścianach (choć i taka operacja nie stanowi problemu w przypadku kompozytu wapienno-konopnego). Kable powinny być prowadzone w plastikowych lub metalowych (nie rdzewnych) osłonach, co tworzy pewną ochronę kabli przed uszkodzeniami mechanicznymi, które mogłyby nastąpić w trakcie dalszych prac; co więcej, dzięki tym osłonom zapewniony jest przepływ powietrza dookoła kabli, co zmniejsza ryzyko przegrzania i ewentualnego zapłonu ściany w wyniku awarii. Przewody mogą przebiegać wzdłuż ramy drewnianej i tam, gdzie jest to wymagane, powinny być przymocowane do drewnianych elementów (rys. 3.20).



Rys. 3.20. Przewody elektryczne poprowadzone w ścianie przed ułożeniem mieszanki [3]



Rys. 3.21. Po lewej – puszki przytwierdzone do drewnianego elementu konstrukcji ściany, po prawej – uzupełnione ubytki wokół puszek [3]

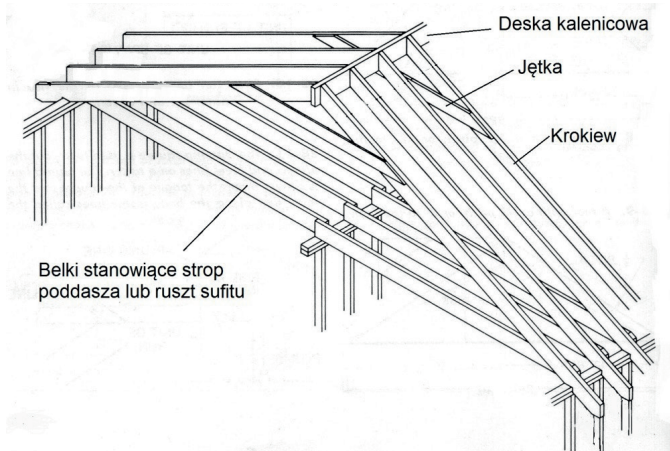
Jeśli w ścianie przewiduje się zamontowanie gniazdka lub przełącznika, skrzynka powinna być zamocowana bezpośrednio do ramy lub do specjalnie zamontowanego w tym celu elementu drewnianego zamocowanego w ramie, w ten sposób, aby powierzchnia tej skrzynki równała się z powierzchnią ściany. Nie będzie ona wtedy kolidowała z deskowaniem ściany. Ubytki powstałe w wyniku braku możliwości dokładnego wypełnienia przestrzeni dookoła gniazdka mogą być wypełnione mieszanką po zdjęciu deskowania (rys. 3.21).

3.11 Technologia wykonywania dachu

Konstrukcja dachu znacząco nie różni się o tych stosowanych w technologiach tradycyjnych. W przypadku stosowania materiałów ściennych nieodpornych na działanie wody deszczowej wskazane jest jednak zastosowanie dłuższego okapu, niż w przypadku domów wykonanych np. z materiałów ceramicznych, otynkowanych.

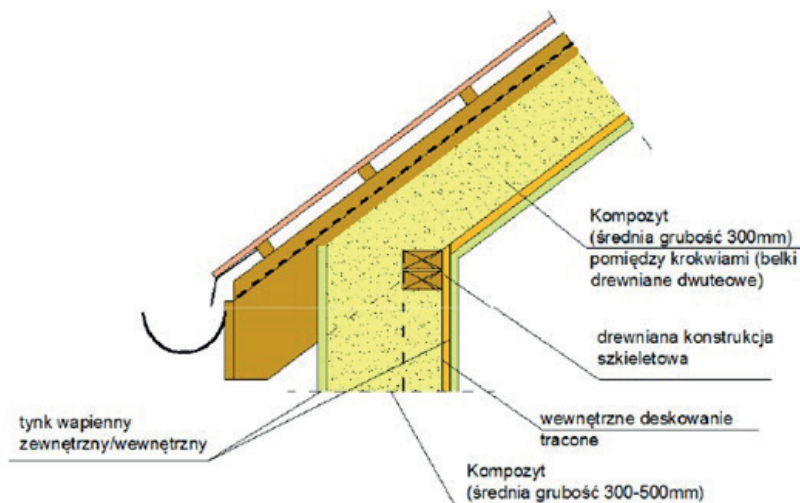
3.12 Konstrukcja krokwiowa

Konstrukcja dachu może być wykonana jako krokwiowa (rys. 3.22). W technologii wypełniania przegród kompozytem wapienno-konopnym docelowo przestrzeń między krokwiami powinna być wypełniona tym kompozytem, który będzie pełnił funkcję izolacji termicznej. Przykładowe rozwiązanie pokazano na rys. 3.23.



Rys. 3.22. Przykład krokwiowej konstrukcji dachu opartej na drewnianym szkielecie ścian [1]

Krokwie od spodu mogą być podbite deskowaniem traconym w postaci płyt o dobrych parametrach paroprzepuszczalności – tak jak w przypadku ścian. W taki sposób przygotowane zostaje podłoże do układania izolacji termicznej z kompozytu wapienno-konopnego. W tym przypadku z uwagi na obecne wymagania cieplne stawiane dachom – współczynnik przenikania ciepła powinien być mniejszy niż $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ [2] – zaleca się zastosowanie mieszanki o mniejszej gęstości niż dla ścian. Należy zastosować taką ilość spoiwa, aby zapewnić ochronę paździerzy przed korozją biologiczną. Mieszanki nie należy również zagęszczać, tylko zadbać o dokładne jej rozprowadzenie i wypełnienie trudno dostępnych miejsc (rys. 3.24).



Rys. 3.23. Połączenie ściany z izolacją dachu w technologii wapienno-konopnej

Alternatywą może być wykonanie zagęszczonej warstwy kompozytu umieszczonej na deskowaniu tymczasowym między rusztem z łat przybitych od spodu krokwi. Cienka warstwa zagęszczonego, stwardniałego kompozytu (ok. 5 cm) będzie dobrym podkładem pod warstwę izolacji z kompozytu o mniejszym zagęszczeniu.

Kolejne warstwy poszycia mogą być takie, jak wykonuje się w technologiach tradycyjnych, czyli drewniany ruszt przytwierdzony w postaci kontrłat oraz łat. Pokrycie dachowe również jest dowolne. Ważne, aby zapewnić możliwość wysychania mieszanki wapienno-konopnej, a mianowicie nie przykrywać jej folią wstępnego krycia bez pozostawienia pustki wentylacyjnej.

Zaletą wykorzystania mieszanki wapienno-konopnej do budowy ścian i ocieplenia dachu jest zapewnienie ciągłości izolacji termicznej przy połączeniu dachu ze ścianą (rys. 3.25).



Rys. 3.24. Układanie izolacji między krokwiami na deskowaniu traconym [11]



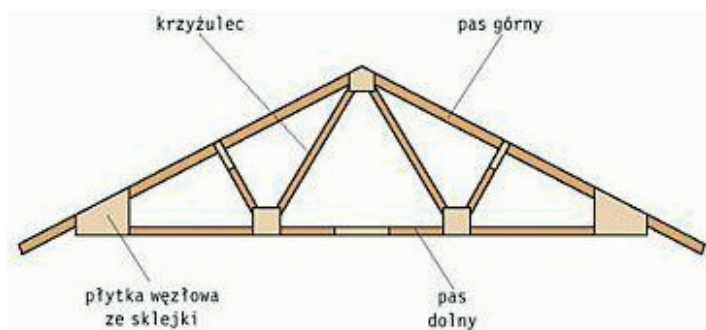
Rys. 3.25. Szczelne połączenie izolacji ściany i dachu [9]

W przypadku, kiedy – z uwagi na specyfikę konstrukcji dachu – nie ma możliwości zastosowania grubszej warstwy izolacji z kompozytu, można dołożyć od spodu warstwę wełny konopnej, np. na drewnianym ruszcie. Współczynnik przewodności cieplnej wełny konopnej wynosi około $0,040 \text{ W/mK}$ [12].

Przy znacznych rozpiętościach dachu zamiast krokwi o przekroju prostokątnym zastosować można krokwie z drewna klejonego o przekroju dwuteowym, których zaletą jest też ograniczenie liniowego mostka termicznego w miejscu krokwi oraz zmniejszenie ciężaru własnego konstrukcji.

3.13 Konstrukcja kratownicowa

Poza dwuteownikami wykorzystać można również drewniane wiązary kratownicowe, np. przy realizacji hal, magazynów, jak również w budynkach mieszkalnych (rys. 3.26, rys. 3.27).



Rys. 3.26. Przykład wiązara kratowniczego [13]

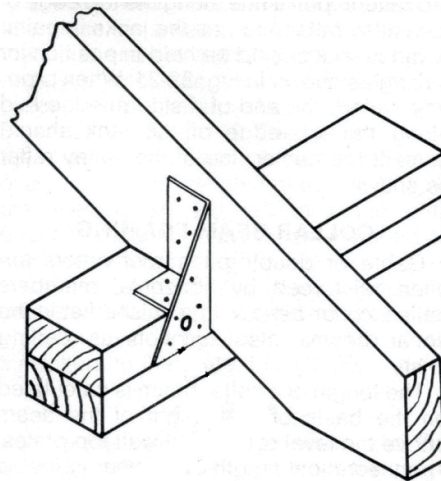
Dach kratownicowy może być ocieplony wełną konopną ułożoną między drewnianym rusztem przymocowanym do dolnego pasa kratownicy. Od spodu kratownicy do pasa dolnego można również przymocować tracone płyty deskowania z materiałów analogicznych do tych, które zostały omówione wcześniej, zapewniających dyfuzję pary wodnej. Na tak przygotowanym podłożu możliwe jest ułożenie izolacji termicznej z mieszanki kompozytu wapienno-konopnego przy zachowaniu zasad opisanych przy konstrukcji krokwiowej. W tym przypadku również będzie zachowana ciągłość izolacji, jeśli ściany będą wykonane w tej samej technologii (drewniany szkielet wypełniony kompozytem).

Konstrukcja dachu w postaci krokwi lub wiązarów kratownicowych powinna opierać się na wzmocnionych górnych belkach drewnianej ramy ściennej. Możliwe jest wykonanie połączenia poprzez węzły ciesielskie, wkręty ciesielskie, a także poprzez łącz-

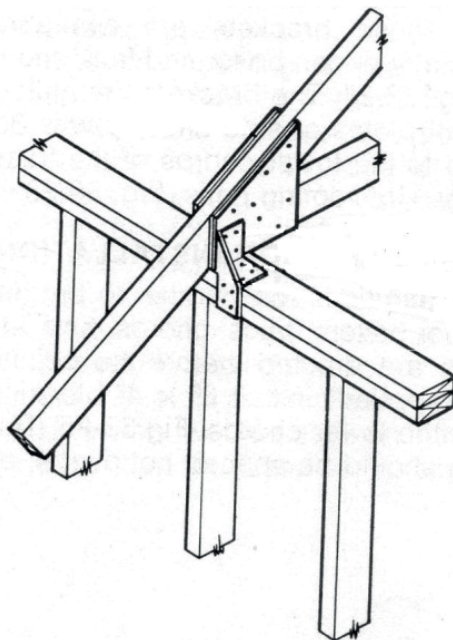
niki stalowe w postaci kątowników mocowanych do elementów drewnianych wkrętami. Kątowniki o różnych wymiarach są ogólnodostępne, ale możliwe jest również samodzielne ich wykonanie z płaskowników lub innych metalowych elementów. Przykładowe rozwiązania połączeń więzara krokwiowego oraz kratownicowego z konstrukcją ściany przedstawiono na rys. 3.28 i rys. 3.29.



Rys. 3.27. Przykład konstrukcji dachu wykonanego z więzarów kratownicowych [14]



Rys. 3.28. Połączenie krokwi z górną belką ramy ściany zewnętrznej [1]



Rys. 3.29. Połączenie wiazara kratownicowego z górną belką ramy ściany zewnętrznej [1]

Bibliografia

- [1] Feirer J.L., Hutchings G.R.: Carpentry and Building Construction. Glencoe Publishing Company, 1989.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) ze zmianą z dnia 01 stycznia 2014 r. (Dz.U., poz. 926).
- [3] Stanwix W., Sparrow A.: The Hempcrete Book – Designing and building with hemp-lime, Green Books, England, 2014.
- [4] Miedziałowski C., Malesza M.: Budynki o szkieletcie drewnianym z poszyciem. Podstawy mechaniki konstrukcji oraz zagadnienia konstruowania i realizacji. Polska Akademia Nauk, Warszawa-Białystok, 2006.
- [5] www.hempcretehome.com
- [6] Fic S., Brzyski P., Jarosz-Hadam M.: Możliwości wykorzystania odpadów lnianych i konopnych do szerokiego zastosowania w budownictwie, [W]: S. Kondracki, K. Zarzecka, Współczesne dylematy polskiego rolnictwa Cz. II, Wyd. PSW im. JP II, Biała Podlaska, 2015, s. 128-137.
- [7] Allin S.: Building with Hemp, Seed Press, Ireland, 2012.

- [8] Sparrow A.: Building with Hempcrete (hemp-lime) – Essential Tips for the Beginner, The Last Straw, 64, 2014.
- [9] www.limecrete.co.uk
- [10] www.inmatteria.com
- [11] www.hempcrete.com.au
- [12] www.steico.com
- [13] www.prefa-bud.pl
- [14] www.kreocen.pl

liczba znaków ze spacjami: 26 054



ISBN 978-83-64881-10-7

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



PL-BY-UA
2007-2013



UNIA
EUROPEJSKA

