

## **КОНОПОБЕТОНЪТ КАТО АЛТЕРНАТИВЕН ИЗОЛАЦИОНЕН МАТЕРИАЛ С НИСЪК ЕКОЛОГИЧЕН ОТПЕЧАТЪК**

**Николай Динов<sup>1</sup>, Румяна Захариева<sup>2</sup>**

### **HEMPCRETE AS AN ALTERNATIVE INSULATION MATERIAL WITH A LOW ENVIRONMENTAL FOOTPRINT**

**Nikolay Dinov<sup>1</sup>, Roumiana Zaharieva<sup>2</sup>**

#### **Abstract:**

*Construction industry has a high environmental impact, which require searching and using alternative solutions regarding to construction materials. Part of these solutions are natural building materials, among which hempcrete stands out. This composite material is designed for enclosing walls and it is characterized with excelent properties - low bulk density, low thermal conductivity, good vapor permeability, lack of toxicity and etc.*

*The publication systematizes the advantages of hemp concrete in the context of sustainable development and analyzes the ways to overcome some of its disadvantages - time-consuming and labor-intensive implementation when the material is cast on place and relatively low compressive strength .*

*The possibilities for additional reducing the environmental footprint of hempcrete by adding recycled materials into composition are clearly outlined.*

#### **Keywords:**

*Hempcrete, Sustainable materials, Carbon negative material, Environmental impact LCA, EPD*

#### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Строителната индустрия има висок екологичен отпечатък. Според последния Доклад за глобалното състояние на сградите и строителството от 2022 г., 34% от консумираната енергия и 37% от въглеродните емисии в световен мащаб са причинени от строителния сектор [1]. По произход въглеродните емисии биват въплътени, които се получават в резултат от производството на строителните материали и оперативни, които са в резултат

---

<sup>1</sup> Николай Динов, докторант, магистър инженер, катедра “Строителни материали и изолации”, Строителен факултет, УАСГ, София 1164, бул. Христо Смирненски № 1, n.dinov\_fce@uacg.bg  
Nikolay Dinov, doctoral student, Department: Building Materials and Insulations, Faculty of Structural Engineering, UACEG, Sofia 1164, 1 Hristo Smirnenski Blvd., n.dinov\_fce@uacg.bg

<sup>2</sup> Румяна Захариева, доцент, доктор на науките, катедра “Строителни материали и изолации”, Строителен факултет, УАСГ, София 1164, бул. Христо Смирненски № 1, zaharieva\_fce@uacg.bg  
Roumiana Zaharieva, Associate professor, Department: Building Materials and Insulations, Faculty of Structural Engineering, UACEG, Sofia 1164, 1 Hristo Smirnenski Blvd., zaharieva\_fce@uacg.bg

от експлоатационните процеси в сградите. По-трудни за ограничаване са въздушните въглеродни емисии, поради което усилията са насочени предимно към ограничаване на въглеродния отпечатък от поддръжката на сградите по време на жизнения им цикъл.

Съвременното строителство, като източник на опасни за климата емисии, има огромно въздействие върху задълбочаващия се проблем с глобалното затопляне. Производството и използването на традиционни строителни материали като бетон и стомана влияе негативно върху климатичните промени, което поставя пред явво предизвикателство строителната индустрия – фиг. 1. Намалването на тези ефекти може да се постигне чрез рационално планиране на жизнения цикъл на строителните продукти и изделия по неутрален за ресурсите начин, като се акцентира върху рециклирането, повторната употреба и намалването на генерираните отпадъци, както и използването на материали с понижен, дори отрицателен, въглероден отпечатък. По този начин се изгражда кръгов модел в икономиката, което дава перспективи за постигане на баланс между потребление и разумно оползотворяване на природните ресурси.



**Фигура 1.** Екологичен отпечатък на строителството: а) консумирана енергия и б) въглеродни емисии от строителната индустрия в световен мащаб [1].

Естествените строителни материали се вписват успешно в модела на кръговата икономика и неравната борба с промените в климата. Използването на природни материали от местни източници като дърво, глина, слама и камък води до намаляване на въглеродния отпечатък от строителната индустрия. Съкращаването на транспортните разстояния, намаляването на индустриалните процеси и възможността за прилагане на възобновяеми ресурси са само част от предимствата на естествените строителни материали и основни фактори за намаляване на екологичния отпечатък на строителството.

## 2. ЕКОЛОГИЧЕН И ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК НА СТРОИТЕЛНИТЕ ПРОДУКТИ

Екологичният отпечатък на строителните материали отразява техните въздействия върху околната среда, човешкото здраве и различните екосистеми. Въздействията са систематизирани в няколко категории, сред които климатични промени, изчерпване на озон, киселяване на почви и води, еутрофикация, използване на ресурси (вода, енергия и

абиотични и биотични ресурси и др.), генериране на отпадъци. Категориите се описват с индикатори като количествени измерители на въздействията.

За оценка на екологичния отпечатък на строителните продукти се прилага стандартът БДС EN 15804:2012+A2 [2]. Той дава методическа рамка и цели представените данни и анализи да бъдат хармонизирани по безпристрастен начин. Декларациите за строителните продукти по отношение на околната среда (EPD) отразяват в детайли жизнения цикъл на строителните продукти, като удостоверяват по обективен начин информацията относно въздействието на даден продукт върху околната среда. Това дава възможност за изготвянето на реална оценка на възможностите за оползотворяване (рециклиране, повторна употреба), за влагане в състава на рециклирани материали, за намаляване на енергоемкостта и вредните въздействия върху околната среда [3].

За изчисляване на индикаторите се прилага подходът за оценка на жизнения цикъл (Life Cycle Assessment, LCA), който разглежда процесите, свързани с добив на суровините, транспортиране и производството на продукта, влагането му в строителството, експлоатацията на сградите/съоръженията и, в края на жизнения цикъл на продукта или сградата, процесите свързани с премахване и обезвреждане и/или оползотворяване на отпадъците. Много често, поради липса на данни за етапите на строителство и експлоатация, LCA обхваща само етапите на производството на строителния продукт и на края на жизнения му цикъл.

От множеството индикатори най-често прилаганият е този, свързан с парниковите газове - Потенциал за глобално затопляне (Global warming potential), който се измерва като еквивалентно количество въглероден диоксид (kg CO<sub>2</sub> eq.) и е популярен под името „въглероден отпечатък“. LCA подходът, съвременните софтуери и бази данни позволяват да се остойностяват както генерираните, така и отложените въглеродни емисии.

Стойностите на екологичните индикатори, в частност на потенциала за глобално затопляне, варират в много широки граници. В табл. 1 са представени данни за някои от най-използваните топлоизолационни материали – минерална вата и експандиран пенополистирен (EPS), а също така и на алтернативни топлоизолационни материали от естествени влакна (коноп и юта). За намаляването на въздействията на строителството върху околната среда, от съществено значение е прилагането на устойчиви („зелени“) строителни материали, които се характеризират с малки стойности на отложените емисии, ресурсна ефективност, ниска въплътена енергия и възможност за оползотворяване и/или разграждане.

Материалите, които са на базата на биологични суровини (биотични ресурси) обикновено се вписват в категорията на устойчивите материали [4]. Данните в табл. 1 потвърждават, че топлоизолационните материали имат много по-малко емисии и са много по-ресурсоефективни. Използването, обаче, и при тях на адхезиви и химикали с неметанови летливи органични вещества би довело до по-голямо негативно отражение по отношение на образуването на фотохимичен озон.

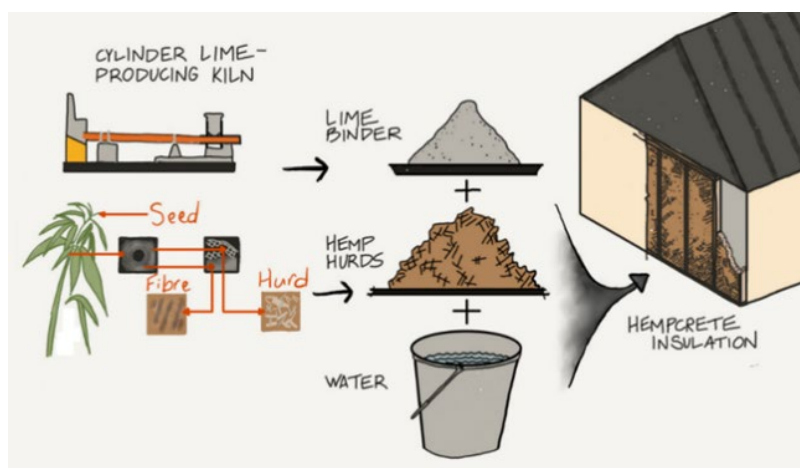
В този контекст, конопобетонът превъзхожда някои естествени топлоизолационни материали, тъй като не предполага използването на синтетични адхезиви и други химикали.

**Таблица 1.** Екологични индикатори за някои топлоизолационни материали (обхват на LCA - етап “производство на строителен продукт“)

| Готов продукт                                                                                                                    | Потенциал за глобално затопляне - общо (kg CO <sub>2</sub> eq) | Образуване на фотохимичен озон (kg NMVOC-eq) | Потенциал за изчерпване на абиотични ресурси - изкопаеми ресурси (kg SB-eq) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| EKOLUTION® изолация от конопени влакна [5]                                                                                       | -6.81                                                          | 0,00398                                      | 4,15.10 <sup>-6</sup>                                                       |
| Топлоизолационни плочи от смес от конопени, ютени и синтетични влакна, третиран с антипирени Hempflax Thermo Hemp Combi Jute [6] | -20,26                                                         | 0,1012                                       | 2,34.10 <sup>-4</sup>                                                       |
| EPS 150 [7]                                                                                                                      | 10,55                                                          | 0,0515                                       | 0,1112                                                                      |
| ROCKWOOL каменна вата с ниска обемна плътност [8]                                                                                | 49,48                                                          | 0,0117                                       | 1,102.10 <sup>-5</sup>                                                      |

### 3. СЪСТАВ, СВОЙСТВА И ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОНОПОБЕТОНА

Съставът на конопобетона представлява смес от стърготини, получени от стеблата на растението индустриален коноп (*Cannabis sativa L.*), свързващо вещество, обикновено на основата на вар, и вода. На фиг. 2 е илюстрирано производството на конопобетон и влагането му като изолационен материал.



**Фигура 2.** Схема за производство на конопобетон [9]

Изследванията в областта на конопобетона го характеризират като материал с отрицателен въглероден отпечатък [10 - 12], като изчисленията на нетните въглеродни емисии през жизнения цикъл на конопобетона на различни образци са в границите от -1,6 до -79 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> [13] определени чрез in situ методи за карбонизация. Това се дължи най-вече на характера на изходните суровини и процесите по тяхното производство.

Конопът като насаждение има множество предимства пред други влакнести растения от същата група, тъй като той може да расте при всякакви климатични условия, не се нуждае от мерки против плевели, защото расте прекалено бързо, което не позволява развитието на

други растителни видове, пречещи на растежа му. Именно това е едно от най-съществените предимства на тази култура – на едно дърво са му необходими приблизително 15-20 години, за да бъде годно за строителни цели, вкл. за изолация, докато на конопеното растение са му нужни само 14 седмици [14]. Отглеждането на конопените посеви не изисква прилагане на пестициди или инсектициди, с което не се нарушава екологичното равновесие в почвата. Тези предимства на растението го правят подходяща суровина за производството на строителни материали на растителна основа - конопена вата за вътрешна и външна топлоизолация, подови плочи, груби и фини мазилки, фибродъски от конопени влакна като облицовъчен материал и др. Конопът, посредством фотосинтезата, абсорбира по-голямо количество въглероден диоксид, отколкото се отделя по-нататък при обработката на суровината. Според проучване на Университета в Кеймбридж, растението *Cannabis sativa* L. абсорбира между 8 и 15 тона въглероден диоксид за 1 хектар насаждения.

За получаването на въздушно свързващото вещество вар пък е необходима термична обработка на варовикови скали в условията на високи температури (1000-1200 °C), като продукти на тази термохимична реакция се получават негасена вар (CaO) и въглероден диоксид (CO<sub>2</sub>):



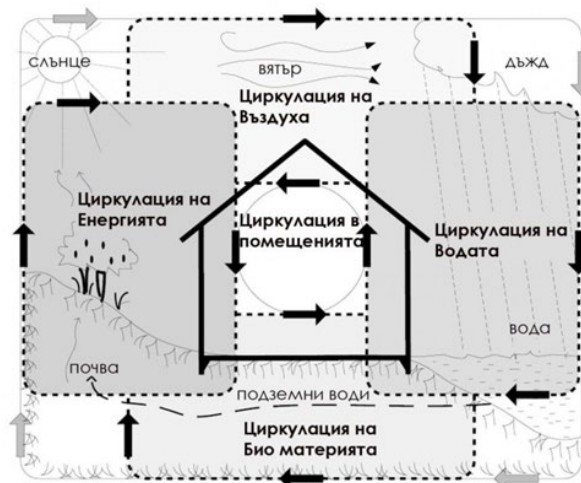
От друга страна, втвърдяването на варта е съпроводено с поглъщането на CO<sub>2</sub>, в резултат на което се получава калциев карбонат (CaCO<sub>3</sub>):



Следователно, част от въглеродните емисии, свързани с производството на варта, биват елиминирани в процеса на експлоатация на варовите продукти.

Едно от основните технически предимства на конопобетона е малката му обемна плътност, която в варира в границите от 300 kg/m<sup>3</sup> до 650 kg/m<sup>3</sup> [18 - 21], в зависимост от съотношението на съставните компоненти, както и от степента на уплътняване на материала. Ниската обемна плътност има двупосочен ефект - от една страна, малкото собствено тегло води до намаляване на общата маса на конструкцията и по-доброто ѝ поведение при динамични въздействия, а от друга страна ниската обемна плътност предопределя ниските якости на конопобетона. Опитно установените стойности на якостта натиск на конопобетона варират в голям диапазон, но не надвишават 1 МПа [15 - 18]. Конопобетонът се използва като ефективен топлоизолационен материал. Той се характеризира с малка топлопроводност (коэффициент на топлопроводност  $\lambda=0,07 - 0,19$  W/mK) [15 - 18], която се дължи най-вече на въздушните пори и празнини, както и на порите в самите конопените стърготини. От своя страна  $\lambda$  има стойности в относително голям диапазон, което се дължи на вида на свързващото вещество, както и на прецизността в полагането и уплътняването на материала.

Освен ниската топлопроводност, конопобетонът се характеризира и с добра паропропускливост – числото на дифузионно преминаване на водните пари  $\mu$  е около 5 [19, 20]. Добрата дифузия на водни пари елиминира влажните зони в помещенията и значително намалява процесите на конденз. Порестата структура на материала служи като филтър за преминаващия въздух, като осигурява необходимата циркулация, а това неблагоприятства развитието на плесени – фиг. 3. Като цяло, стенните ограждащи конструкции от естествени строителни материали спомагат за постигането на оптимален микроклимат и за поддържаната на относително постоянно ниво на влажност в помещението.



**Фигура 3.** Фактори за биологично и екологично балансиран дом [21]

Добрите експлоатационни характеристики на конопобетона – отлични топлоизолационни свойства, добра паропропускливост, както и ниската обемна плътност, го превръщат в подходящ материал за различни строителни цели. Той се прилага във вид на смес или готови тухлени блокове при изграждането на стенни конструкции,

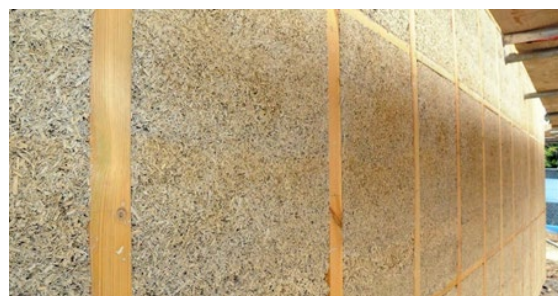
Традиционната технология за изпълнение на ограждащи стенни елементи от конопобетон се състои от полагане на готовата смес в кофражни форми на строителната площадка, ръчно уплътняване и изчакване, за да набере достатъчна начална якост положения материал. Това е съпроводено със съсъхване, което води до възникване на напрежения във вече положения материал. Технологията е с ниска производителност - времеемка и налага използването на значително количество ръчен труд.



а)



б)



в)

**Фигура 4.** Приложение на конопобетона: а) полагане в кофражна форма in situ [22]; б) като изолационен слой на тухлена стена [22]; в) готова стена [23]

#### 4. НАСОКИ ЗА РАЗВИТИЕ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОНОПОБЕТОНА

Изследвания в областта на конопобетона са насочени към модифицирането на състава му, с цел подобряване на общото поведение – увеличаване на носещата способност, повишаване на устойчивостта на влага, подобряване на технологичността, както и намаляване на екологичния отпечатък. Обобщените изводи от проведени изпитвания сочат към следните заключения:

- 1) Замяната на варта в конопобетона с други въздушно свързващи вещества като смес от строителен гипс и фазопрменящи материали (парафинова вакса) не води до значителна промяна в обемната плътност, топлопроводимостта, както и в якостта на натиск [24];
- 2) Частична замяна на варта в конопобетона с цимент и/или пуцоланови добавки (метакаолин, експандирана глина, микросилициев прах, летящи пепели, прах от смляна керамика) води до повишаване на якостта на натиск и намаляване на времето за втвърдяване на крайния продукт. От друга страна, обаче, се наблюдава влошаване на топлопроводимостта с около 25 % [17, 25] и увеличаване на собственото тегло [17, 25]. Влагането на някои минерални добавки невинаги е целесъобразно поради техния произход (индустриални отпадъци като микросилициевият прах и летящите пепели) или значителното оскъпяване на крайния продукт (метакаолинът и експандираната глина се нуждаят от термична обработка, а керамиката – от смилане).

Решение за преодоляване на технологичните предизвикателства е да се произвеждат зидарийни/облицовъчни блокове от конопобетон. Това води до намаляване на времето за изграждане, елиминиране на проблемите от съсъхване и възможност за предварително произвеждане на различни дебелини на блоковете. Зидарийните блокове се състоят от същите материали, както и стените, изпълнявани по метода *in situ* – промишлен коноп, вар, вода и някои допълнителни минерални добавки. Стените, изградени от тях, създават отличен топлинен и акустичен комфорт, водят до нисък разход на енергия както по време на строителството, така и в процесна експлоатация на сградата, както и до възможност за по-лесно рециклиране в края на жизнения им цикъл.

Съчетаването на такъв тип продукти с мазилка от глина или варо-конопена мазилка допълнително способства за поддържането на постоянни нива на относителната влажност в сградата. Зидарийните блокове могат да имат различни размери и форма и да се комбинират в по-сложни елементи, включително за изпълнение на носещи стени – фиг. 6.



Фигура 6. Блоковете от конопобетон:

а) блокове за зидария Isohemp с различна дебелина – 7,5-36 cm [26]

б) блокове за зидария тип LEGO [27],

в) блокове за носеща зидария [28]

## 5. ИЗВОДИ И НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Конопобетонът е ефективен топлоизолационен материал с отлични експлоатационни качества и с нисък екологичен отпечатък. Той се характеризира дори с отрицателен въглероден отпечатък, което допринася за намаляване на вредните емисии от строителството.

Неговите предимства могат да бъдат засилени посредством замяната на варта с други, ресурсно-ефективни свързващи вещества с ниска енергоемкост. Употребата на продукти от рециклирани строителни отпадъци би дала възможност не само за подобряване на характеристиките на конопобетона, но и за по-доброто оползотворяване на строителните отпадъци.

Предлагането на конопобетона под формата на блокове преодолява технологичното забавяне и непостоянството в качеството на крайния продукт, които се свързват с приложението му *in situ*.

Конопобетонът се очертава като атрактивен топлоизолационен материал, който се вписва в концепцията за устойчиво строителство и допринася за кръговата икономика.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящите изследвания са финансирани по проект BG05M2OP001-1.002-0019: „Чисти технологии за устойчива околна среда – води, отпадъци, енергия за кръгова икономика“ (Clean&Circle).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] UNEP, 2022 Global Status Report For Buildings And Constructions, <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>, последно посетен: 26.10.2023 г.
- [2] БДС ISO 15804:2012+A2 Устойчиво строителство. Декларации за продукт по отношение на околната среда. Основни правила за категорията на строителни продукти.
- [3] Захаријева Р., Доц. Румяна Захаријева: Декларации за продукт по отношение на околната среда. Основни правила за категорията на строителните продукти, БДС Компас, Брой 2, април – юни 2022
- [4] Meisel A., LEED Materials: A Resource Guide to Green Building, Princeton Architectural Press
- [5] EPD Process Data set: S-P-10546 EKOLUTION® Hemp Fibre Insulation: <https://data.environdec.com/datasetdetail/process.xhtml?uuid=a93edd31-b64a-4697-ca66-08dba4346211&version=07.01.002&lang=en>
- [6] EPD Process Data set: Hempflax Thermo Hemp Combi Jute: <https://ecosmdp.eco-platform.org/datasetdetail/process.xhtml?uuid=1018517a-1fb0-40c9-aa82-d7d3c2687b49&version=00.00.010&lang=en>
- [7] EPD Process Data set: EPS 150: <https://epdireland.lca-data.com/datasetdetail/process.xhtml?uuid=67ad9891-857d-4a17-93f5-530b3bcda452&version=00.03.001&lang=en>
- [8] EPD Process Data set: ROCKWOOL stone wool insulation materials in the low bulk density range: <https://ibudata.lca-data.com/datasetdetail/process.xhtml?uuid=ec17f51c-27ff-4729-977e-cd0e273c2ee3&version=00.05.000&stock=PUBLIC&lang=en>
- [9] Arehart J., W. Nelson, W. Srubar III, On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete, Journal of Cleaner Production Volume 266, 1 September 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121846>



- [10] Arrigoni A. et al, Life cycle assessment of natural building materials: the role of carbonation, mixture components and transport in the environmental impacts of hempcrete blocks, *Journal of Cleaner Production*, Volume 149, 15 April 2017, Pages 1051-1061, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.161>
- [11] Boutin M., C. Flamin, Examination of the Environmental Characteristics of a Banked Hempcrete Wall on a Wooden Skeleton, by Lifecycle Analysis: Feedback on the LCA Experiment from 2005, <https://doi.org/10.1002/9781118576809.ch9>
- [12] Florentin Y. et al, A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials, *Energy and Buildings* Volume 156, 1 December 2017, Pages 293-305, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.097>
- [13] Collet F., S. Pretot, Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content, *Construction and Building Materials* Volume 65, 29 August 2014, Pages 612-619, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.039>
- [14] Nobelix, Преоткриваваме стари строителни технологии, [www.stroiinfo.com](http://www.stroiinfo.com)
- [15] Pietruszka B. et al, Characterization of Hemp-Lime Bio-Composite, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 290, Central Europe towards Sustainable Building (CESB19) 2–4 July 2019, Prague, Czech Republic, DOI:10.1088/1755-1315/290/1/012027
- [16] Abdellatef Y. et al, Mechanical, Thermal, and Moisture Buffering Properties of Novel Insulating Hemp-Lime Composite Building Materials, <https://doi.org/10.3390/ma13215000>
- [17] Walker R., A Study of the Properties of Lime-Hemp Concrete with Pozzolans, University of Dublin, Trinity College
- [18] Adam L., D. Isopescu, Physico-mechanical properties investigation of hempcrete, *Journal of Applied Life Sciences and Environment* Vol. 55, Issue 1, <https://doi.org/10.46909/alse-551047>
- [19] Walker R., S. Pavia, Moisture transfer and thermal properties of hemp–lime concretes, *Construction and Building Materials* Volume 64, 14 August 2014, Pages 270-276, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.081>
- [20] Ruus A. et al, Influence of production on hemp concrete hygrothermal properties: sorption, water vapour permeability and water absorption, *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 2069, 8th International Building Physics Conference (IBPC 2021) 25-27 August 2021, Copenhagen, Denmark, DOI 10.1088/1742-6596/2069/1/012004
- [21] Бонева Р., Тухли от коноп... и нека домът диша, Списание "още за КЪЩАТА" - Строителство, Архитектура, <https://www.kabтата.com>, последно посетен: 26.10.2023 г.
- [22] Babu D., Alternative Materials Hempcrete, [www.re-thinkingthefuture.com](http://www.re-thinkingthefuture.com), последно посетен: 26.10.2023 г.
- [23] Heckstall A., Hempcrete, sustainable, lightweight and insulating construction material, Adrien Heckstall, [www.ibizaliving.net](http://www.ibizaliving.net), последно посетен: 26.10.2023 г.
- [24] Bumanis G., D. Bajare, PCM Modified Gypsum Hempcrete with Increased Heat Capacity for Nearly Zero Energy Buildings, *Environmental and Climate Technologies*, Volume 26, Issue 1, pp.524-534, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0040>
- [25] Dinh T. et al, Hemp concrete using innovative pozzolanic binder, First International Conference on Bio-based Building Materials
- [26] Isohemp Natural Building, [www.iso hemp.com](http://www.iso hemp.com)
- [27] Just BioFiber Structural Solutions, [www.justbiofiber.com](http://www.justbiofiber.com)
- [28] HempBLOCK, [www.hempblockusa.com](http://www.hempblockusa.com)