

Kötetlen szalmaszál halmazok mikro- és mikrostruktúrája módosításának hatása a hővezetésére

Effect of modification of micro- and microstructure of unbound straw fibre clusters on thermal conductivity

Dr. FENYVESI Olivér¹, adjunktus, CSANÁDY Dániel², doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Építőanyagok és Magasépítés Tanszék;
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3., K185.;

¹tel: +36-1-463-3454; fax: +36-1-463-3450; fenyvesi.oliver@epito.bme.hu

²tel: +36-1-463- 3459; fax: +36-1-463-3450; csanady.daniel@epito.bme.hu

ABSTRACT

In this paper, the effect of modifying the micro- and microstructure of straw-based thermal insulation material on thermal conductivity was investigated. In the natural state, most plant fibres can be only applied as thermal insulation as a kind of space-filling material, and their thermal parameters still lag behind those of artificial materials. In this way, natural plant fibres are relatively commonly used in prefabricated structures. The vast majority of thermal insulation materials, on the other hand, are installed in the case of retrofitting thermal insulation of existing buildings, where these fibres appear in a very small percentage. Due to the micro and macrostructure of straw from agricultural activities, after appropriate treatments, it is a suitable raw material for the production of thermal insulation. Overall, the thermal conductivity measured after the application of different levels of fibre modifications was 17% lower than the initial state. The treated fibres can be panelled with a special modified silicate adhesive, making them suitable for subsequent use as facade thermal insulation. It is important that the thermal insulation remain environmentally friendly even after treatment, because no toxic material or polymers have to be used during the production.

KIVONAT

Jelen cikkben egy szalma alapú hőszigetelő anyag mikro- és mikrostruktúrája módosításának hatását vizsgáltuk a hővezetésre. A növényi szálak többsége természetes állapotban csak valamilyen térkitöltő anyagként képes hőszigetelésként funkcionálni, továbbá hőtechnikai paraméterei így is elmaradnak a mesterséges anyagokétól. Ilyen módon előregyártott szerkezetben viszonylag elterjedten alkalmaznak természetes növényi szálakat. A hőszigetelő anyagok túlnyomó többsége viszont meglévő épületek utólagos hőszigetelése esetén kerül beépítésre, ahol ezen szálak nagyon kis százalékban jelennek meg. A mezőgazdasági tevékenységből származó szalma szerkezeti struktúrája miatt megfelelő kezelése után alkalmas alapanyag hőszigetelés gyártásához. A különböző szintű szálmodifikációk alkalmazása után mért hővezetési tényező összességében 17%-al volt alacsonyabb a kezdeti állapotnál. A kezelt szálakat egy speciális modifikált szilikát ragasztóval táblásítani is lehet, így alkalmassá válik utólagos homlokzati hőszigetelésnek. Fontos, hogy a termék a kezelés után is környezetbarát marad, mivel a kezelés során nem szükséges toxikus anyagokat és műanyagokat használni.

Kulcsszavak: Hőszigetelés, mikroszerkezet, makroszerkezet, környezettudatos építőanyag, szalma, biológiailag lebomló

1. ELŐSZÓ ÉS MOTIVÁCIÓ

Az építőiparban felhasznált hőszigetelés mennyisége napjainkban jelentősen növekszik, és a jövőben ez a jelenség nagy valószínűséggel csak fokozódni fog, mivel a szabványok szigorítása kötelezi a társadalmat, hogy a csökkentse energiaigényét. Jelenleg a teljes energiafelhasználásunk kb. 30%-át épületeink fűtésére és hűtésére használjuk fel [1][2]. A széles körben használt hőszigetelő anyagok nagyobb gyártási energiaigényt mutatnak, mint a természetes alapú vetélytársaik, viszont hőszigetelő képességük jobb [3], ezért szükséges jó minőségű, a piacon versenyképes természetes alapú szigeteléseket készíteni, ezzel csökkentve az építőipar energiafelhasználását, további előny, ha ezek az anyagok biológiailag lebonthatók, mivel így épületbontás után nem szennyezik környezetünket.

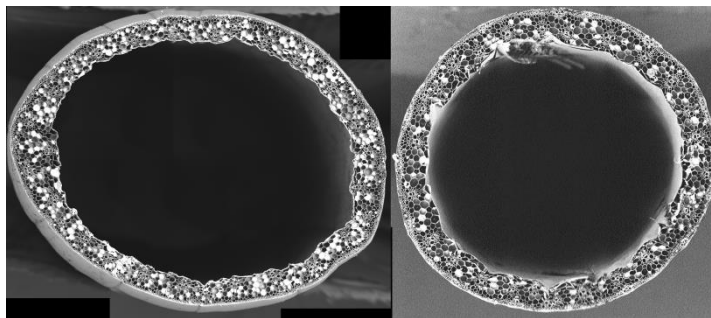
2. KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

Az elmúlt években a főként használt hőszigetelő anyagok továbbra is a műanyag habok és ásványgyapot termékek (95%) [4]. Ezek az arányok manapság is szinte igazak, de a természetes szálak alkalmazása az építőiparban növekszik [5]. Ennek két fő oka a globális felmelegedés és a hulladékgazdálkodás. A természetes hőszigetelés alkalmazásával a szigetelések szén-dioxid lábnyoma jelentősen csökkenthető, mivel a természetes szálak növekedésük során megkötik a széndioxidot [6]. A másik ok az, hogy a gyártási energiaigény alacsonyabb a természetes alapú szigeteléseknél, mint a mesterséges szigeteléseknél [7]. A természetes hőszigetelések esetén a leggyakoribb alapanyagok a következők: len, kender [8], gyapjú [9], szalma, kukoricahéj [10], pamut, kókuszdió-héj [11]. Az 1. táblázat tartalmazza a felsorolt szigetelőanyagok hővezető képességét. A szalma építőipari felhasználásával foglalkozó kutatások főként szalmabálák [12][13] vagy természetes alapú szalma közvetlen felhasználásával foglalkoznak. Emellett még gyakran fellehető téma a szalmaszálak biokompozitokban való alkalmazása, illetve a szálak részleges lebontásából nyerhető bioüzemanyagok gyártásának kutatása. Természetes állapotú szalmaszálak esetén két alapvető probléma merül fel, az egyik a szálak alacsony hővezetési tényezője a másik a szálak felületén jelenlévő tapadást gátló anyagok eltávolítása. Az szakirodalom azt mutatja, hogy a szalma viszonylag kis hővezetési tényezővel rendelkezik (0,0038-0,005 W/mK) [14], ezért megfelelő technológiával a hagyományos hőszigetelő anyagokkal hővezetés szempontjából versenyképesé tehető. Jó páradiffúziós képességeinek köszönhetően a szerkezet és a bentlakók számára megfelelő környezetet képes biztosítani. Szalmaszálak mikroszerkezetének (porozitásával) vizsgálatával foglalkozik néhány cikk, de általában a természetes szalma anyagparamétereit elemzik és nem annak módosítási lehetőségeit [15][16]. A szálak tapadási problémájának lehetséges megoldásait már jóval több cikk tárgyalja, mivel biokompozitokban jól felhasználható lenne az anyag, ahol ugyanolyan problémát jelent a felületi tapadás gátlása, mint hőszigetelő táblák készítése esetén [17] [18] [19]. A hővezetési tényező és szállhossz összefüggését hőszigetelések esetén gyakorlatilag nem tárgyalja a szakirodalom ellenben a polimer kompozitokkal [20].

3. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

3.1 Vizsgált anyagok

A vizsgálatok egy részéhez két eltérő gabonaféle szárát használtuk fel, az 1. típus árpa a 2. búza szára volt. A két fajta szalma nemcsak faj szerint tért el, hanem eltérő területről és eltérő évi aratásból származtak. Mind két alapanyagot azonos körülmények között tároltuk (laborlevegőn) és azonos körülmények mellett vizsgáltuk (tömegállandóságig szárítva). A kutatás első szakaszában mindkét típusnak megvizsgáltuk a porozitását és a hővezetési tényezőjét természetes állapotában is, hogy legyen referencia érték a további kutatásokhoz, illetve össze tudjuk vetni, hogy eltérő kezdeti mikrostruktúrájú szálakban a különböző kezelések milyen hatást idéznek elő. A 1. típusú szalma kisebb méretű pórusokat tartalmazott és átlagosan vékonyabb szárfallal rendelkezett, mint a 2. típusú. A 2. típusú szalma nagyobb méretű pórusokat tartalmazott és átlagosan vastagabb szárfallal rendelkezett, mint a 1. típusú (1. ábra). A kutatás második szakaszában az egyedi szálak tulajdonságait állítottuk be úgy, hogy hőtechnikai szempontból kedvezőbben viselkedjenek, mint természetes állapotban.

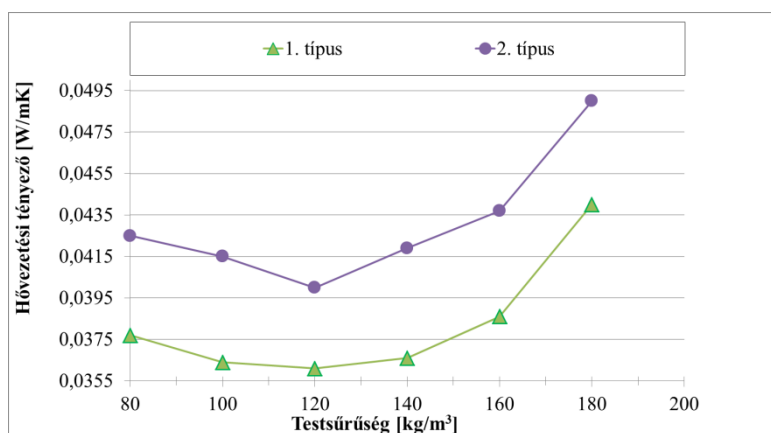


1. ábra

Az 1. típusú természetes állapotú szalma keresztmetszetének elektronmikroszkópos felvétele (balra):
A 2. típusú természetes állapotú szalma keresztmetszetének elektronmikroszkópos felvétele (jobbra)

3.1 Vizsgálati módszertan

A hővezetőképességhez tartozó összes mérést peremvédett fűtőlapos készülékkel végeztük az MSZ EN 12667: 2001 és az MSZ EN 1946-2: 1999 szabványok alapján. A közzétett hővezetési eredmények 10°C -on mért hővezetési értékekre vonatkoznak, és legalább három egyedi mérési eredményen alapulnak. Az összes bemutatott kísérlet esetében igaz, hogy a vizsgált paraméteren kívüli összes tulajdonság és körülmény állandó volt. A természetes állapotú szalmaszárak esetén a 2. ábrán látható hővezetési eredményeket mértük (2. ábra).

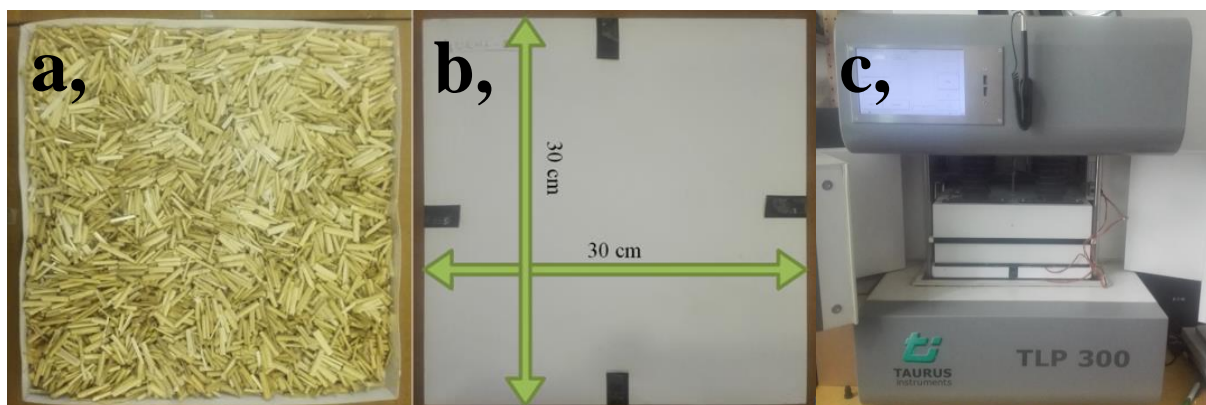


2. ábra

A vizsgált szalmatípusok hővezetésének és testsűrűségének összefüggése természetes állapotban

3.2 Szálhossz változásának hatása a hővezetésre

A szálhossz hatásának vizsgálatakor a szálakat nem kezeltük. Mindkét típus esetén 6-6 szálhalmaz eredményeinek változását mértük úgy, hogy egy adott mintában a halmaz elemei ugyanazon szálak, amelyeket minden mérés után félbevágtunk. Ezzel kijelthettük annak hatását, hogy esetleg az eltérő szálhosszaknál változhat a szálösszetétel (főként az egyéni szálak porozitása), így minden vizsgálatnál valóban csak a hossz változott. A szálakat olyan papírdobozba töltöttük, amely csekély anyagvastagságából adódóan nem befolyásolta a méréseket. A doboz méretei a következők voltak: 20 mm magasság 300 mm szélesség és hosszúság (papír típusa: 120 g/m^2) (3. ábra). A minták testsűrűsége a vizsgálatok során konstans volt.

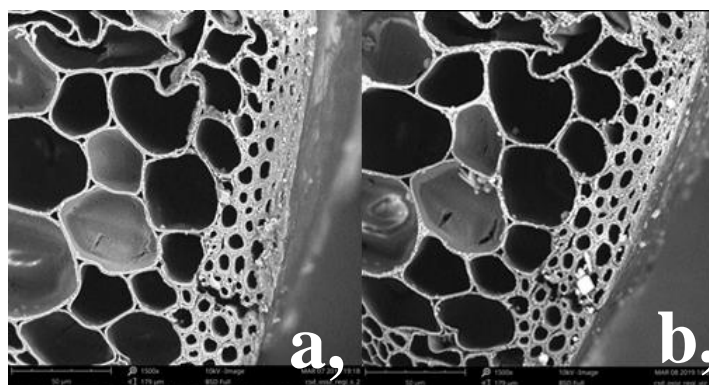


3. ábra

*A mérődoboz adott hosszúságú szálakkal töltve,
a) nyitva, b) zárt állapotban, c) a minta a mérőberendezésben*

3.3 Szálak mikroszerkezetének modifikálása

A mikroszerkezet módosítását természetes szálhosszeloszlás (min a természetes állapotú makro- és mikroszerkezetében sem módosított szálak hővezetését) mellett vizsgáltuk. A módosításokat egy magas hőmérsékletű, nedves hőkezeléssel végeztük el. A négy eltérő kezelés során ugyanazt a folyadék-szál tömegarányt alkalmaztuk, emellett a kezelési idő és a hőmérséklet is ugyanaz volt. A kezelés után a szálhalmazokat tömegállandóságig szárítottuk és ugyanazon testsűrűség mellett mértük a hővezető képességüket, mint a szálhossz módosítás esetében. A hővezetési tényező mérése után a változás okát pásztázó elektronmikroszkópos felvételek készítésével kerestük, ahol a szákról kezelés előtt és után is ugyanazon a keresztmetszeti részen készítettünk felvételeket (4. ábra).



4. ábra

Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel a kezelés előtti (a), és utáni (b) keresztmetszet részletről

A kezeléseknél fontos volt, hogy a szálak szilárdanyag hányadának egy részét eltávolítsuk anélkül, hogy a hőszigetelésre alkalmas porózus részeket nagymértékben roncsolnánk. Kismértékű roncsolás esetén viszont komplikáltabb a hőtechnikailag hátrányos anyag többlet eltávolítása. A hővezetési tényező minimalizálásának szempontjából legkedvezőbb kezelés hatékonyabbá tétele céljából, szakirodalmi ajánlás alapján, ezt a módszert kiegészítettük egy ultrahangos kezeléssel. Fontos megemlíteni, hogy az ultrahanggal kiegészített kísérlet esetén a rendelkezésünkre álló eszköz sajátosságai miatt a kezelési hőmérsékleten és az alkalmazott szálhosszon változtatnunk kellett. A kezelést elvégeztük a megváltoztatott hőmérsékleten ultrahang alkalmazása nélkül és ultrahang alkalmazásával (5. ábra). Természetesen a folyadék-szál arány és a kezelési idő itt is állandó volt. A kezeléseket 6-6 mintán (szálhalmazon) végeztük el, majd a minták tömegállandóságig való szárítása után mértük meg a szálak tömegének megváltozását. Itt a hővezetési tényezőt nem mértük.



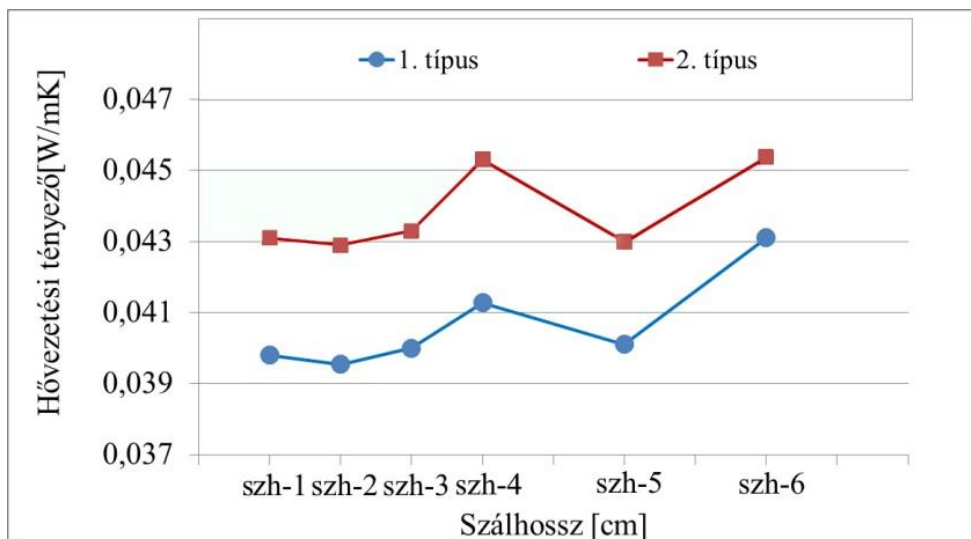
5. ábra

Szálak a kezelésre előkészítve (balra) szálak a kezelés közben (jobbra)

4. ÉRTÉKELÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK

4.1 Szálhossz változásának hatása a hővezetésre

A mérési eredmények azt mutatják, hogy a szálhossz módosítása a természetes szálhossz eloszlású szalma hővezetési tényezőjét akár 8% -kal is csökkentheti. A két különböző porozitású szalma görbéje nagyon hasonló karakterisztikájú, a görbék szinte egymás y tengelyen eltoló változatai (6. ábra). Hasonló jelenséget figyelhetünk meg a természetes állapotú szalma hővezetési tényező-testsűrűség görbéin (2. ábra). Az, hogy a két említett görbe pár hasonlóan viselkedik, azt mutatja, hogy a mikroszerkezetében nem módosított szalmaszál halmazok hővezetési tényezőjének abszolút értékeit alapvetően a halmazra jellemző egyedi szál porozitása határozza meg. Ezzel szemben a hővezetési tényező változásának tendenciája hasonló eltérő porozitású szálhalmazoknál attól függetlenül, hogy mi a változó paraméter. Ennek a folyamatnak a fizikai modellezésével egy későbbi cikkünk foglalkozik majd.

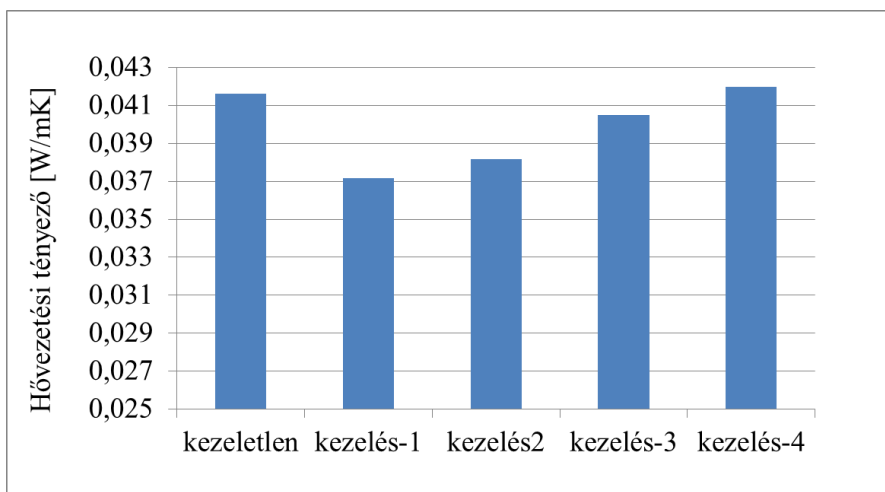


6. ábra

Szálhossz és a hővezetési tényező összefüggése

4.2 Szálkezelés hatása a hővezetésre

A szálkezelés természetes szálhossz-eloszlású szálhalmazok esetén igen hatékonynak bizonyult. A különböző szálkezelési módszerek közül néhány csökkentheti a hővezető képességet akár 15% -kal is (7. ábra). Ezen felül néhány kezelési módszernek nincs hatása, vagy megnöveli a hővezető képességet. Az eredmények kimutatták, hogy fontos a szilárd rész tartalmát anélkül csökkentenünk, hogy nagymértékben roncsolnánk a szárak belső oldali porózus rétegét.

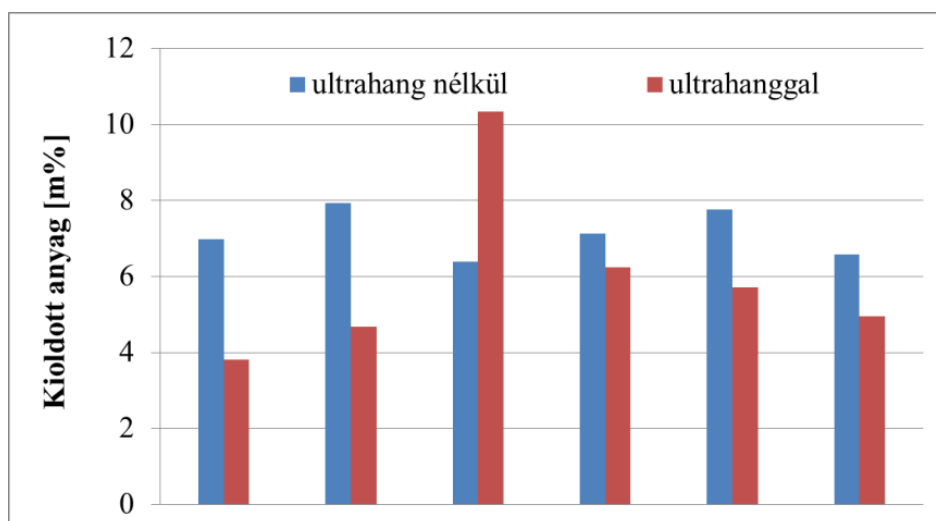


7. ábra

A szálkezelés és a hővezetési tényező összefüggése

4.3 Az ultrahangos szálkezelés hatása a kioldott anyagmennyiségre

Az ultrahangos vizsgálat a várakozásokkal ellentétes eredményt hozott. Szinte mindegyik mintapár esetén az ultrahangos kezelés nélküli mintából oldódott ki nagyobb mennyiségű anyag (8. ábra). Az ultrahangos tisztító berendezések jellemző hatásmechanizmusa, hogy az erősen letapadt szennyeződések a nagy energiájú rezgés felszakítja a felületről, így a tisztítás hatékonyává válik. Ezzel szemben ebben a vizsgálatban az ultrahang alkalmazása rontott az eredményeken. Az eredmény okát a későbbiekben tovább vizsgáljuk.



8. ábra

Ultrahang hatása a kioldott anyag mennyiségére

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Habár jelenleg a természetes eredetű szálak felhasználásának módja az építőiparban alulkutatott (holott történelmi előzményekkel rendelkezik) jelentős potenciál rejlik ebben a tudományterületben. Az eredmények jól mutatják, hogy a jó alaptulajdonságokkal rendelkező természetes szálak, némi mesterséges átalakítással/fejlesztéssel versenyképes alapanyaggá tehetőek a jelenleg elterjedten használt mesterséges anyagokkal. Fontos ismételtlen kiemelni, hogy mind a belőlük készített termék gyártása során kevesebb energiát használunk fel, majd élettartamuk végén is kisebb mennyiségű hulladékkal terheljük a környezetet.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **D. Ürge-Vorsatz, L. F. Cabeza, S. Serrano, C. Barreneche, and K. Petrichenko**, “*Heating and cooling energy trends and drivers in buildings*,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015.
- [2] **F. Varriale and P. Jones**, “*Forecasting future demand for domestic thermal insulation in Wales*,” *Indoor Built Environ.*, 2016.
- [3] **J. Bull**, “**Embodied Carbon of Insulation**,” *Embodied Carbon of Insulation*, 2012. [Online]. Available: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-carbon-of-insulation/>.
- [4] **D. Bozsaky**, “*The historical development of thermal insulation materials*,” *Period. Polytech. Archit.*, 2010.
- [5] **F. Asdrubali and Umberto Desideri**, “*Handbook of Energy efficiency in Buildings - A Life Cycle Approach*,” *Handbook of Energy efficiency in Buildings - A Life Cycle Approach*. 2018.
- [6] **C. Magwood**, “*Best Walls for Building a Home.*,” *Mother Earth News*, 2016.
- [7] **L. Aditya et al.**, “*A review on insulation materials for energy conservation in buildings*,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017.
- [8] **S. Vaitkus, R. Karpaviciute, S. Vejelis, and L. Lekunaite**, “*Development and research of thermal insulation materials from natural fibres*,” in *Key Engineering Materials*, 2014.
- [9] **I. Florea and D. L. Manea**, “*Analysis of Thermal Insulation Building Materials Based on Natural Fibers*,” in *Procedia Manufacturing*, 2019.
- [10] **C. Rojas, M. Cea, A. Iriarte, G. Valdés, R. Navia, and J. P. Cárdenas-R**, “*Thermal insulation materials based on agricultural residual wheat straw and corn husk biomass, for application in sustainable buildings*,” *Sustain. Mater. Technol.*, 2019.
- [11] **S. Panyakaew and S. Fotios**, “*New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse*,” *Energy Build.*, 2011.
- [12] **R. Gallegos-Ortega, T. Magaña-Guzmán, J. A. Reyes-López, and M. S. Romero-Hernández**, “*Thermal behavior of a straw bale building from data obtained in situ. A case in Northwestern México*,” *Build. Environ.*, 2017.
- [13] *Nonconventional and Vernacular Construction Materials*. 2016.
- [14] **O. Douzane, G. Promis, J. M. Roucoult, A. D. Tran Le, and T. Langlet**, “*Hygrothermal performance of a straw bale building: In situ and laboratory investigations*,” *J. Build. Eng.*, 2016.
- [15] **M. Bouasker, N. Belayachi, D. Hoxha, and M. Al-Mukhtar**, “*Physical characterization of natural straw fibers as aggregates for construction materials applications*,” *Materials (Basel)*., 2014.
- [16] **J. Vêjeliènè**, “*PROCESSED STRAW AS EFFECTIVE THERMAL INSULATION FOR BUILDING ENVELOPE CONSTRUCTIONS*,” *Eng. Struct. Technol.*, 2012.
- [17] **G. Han, J. Deng, S. Zhang, P. Bicho, and Q. Wu**, “*Effect of steam explosion treatment on characteristics of wheat straw*,” *Ind. Crops Prod.*, 2010.
- [18] **D. P. Ferreira, J. Cruz, and R. Fangueiro**, “*Surface modification of natural fibers in polymer composites*,” in *Green Composites for Automotive Applications*, 2018.
- [19] **S. H. Ghaffar, M. Fan, and B. McVicar**, “*Interfacial properties with bonding and failure mechanisms of wheat straw node and internode*,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 2017.
- [20] **K. Gharagozloo-Hubmann, A. Boden, G. J. F. Czempiel, I. Firkowska, and S. Reich**, “*Filler geometry and interface resistance of carbon nanofibres: Key parameters in thermally conductive polymer composites*,” *Appl. Phys. Lett.*, 2013.