

Kötött és kötetlen szalmaszál halmazok kezelési ciklusszámának hatása a halmazok hővezetésére és felületi tulajdonságira

Effect of the number of treatment cycles on the thermal conductivity and surface properties of bonded and unbounded straw fibre bulks

Dr. FENYVESI Olivér, adjunktus¹

CSANÁDY Dániel, doktorandusz²

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék; 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3., K185.; tel: +36-1-463-3454; fax: +36-1-463-3450; fenyvesi.oliver@emk.bme.hu

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék; 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3., K185.; tel: +36-1-463- 3459; fax: +36-1-463-3450; csanady.daniel@emk.bme.hu

Abstract

In the present paper, the effect of the treatment cycle number of a straw-based thermal insulation material on thermal conductivity was investigated. In the natural state, most plant fibres can only function as a thermal insulation material with a high structural thickness, which satisfies the requirements, as the thermotechnical parameters of these materials lag behind those of artificial materials. The material properties of natural fibres show a large variance, even in the case of a variety, which makes it difficult to adapt and ensure the quality of the materials made from them to today's needs. Therefore, as an external thermal insulation envelop, these fibres appear in a very small percentage, in contrast to artificial materials. Due to the natural structure of straw from agricultural activity, it is a suitable raw material for the production of thermal insulation after appropriate treatments. In the case of bonded and unbonded natural state straw, the density belonging to the lowest thermal conductivity value was established, which showed the same value in both cases. Thus, the question arises by constant bulk density after stem treatment (even for several cycles) or whether by constant fibre set should be characterized by another stabilized value corresponding to the natural state, such as stem content. In the research, the change in thermal conductivity of bounded and unbounded stem sets was measured with increasing treatment cycles, so that either the set density or the number of stems of given sample groups were kept constant. The measured values in both states showed that in the case of treated fibers, the thermal conductivity can be reduced to a lesser extent at a constant bulk density than in the case of a constant stem content. In the present paper the obstacle layer of surface bond of the stem were also investigated in the highlight of the surface treatment.

Kivonat

Jelen cikkben szalma alapanyag kezelési ciklusszámának hatását vizsgáltuk a belőle készített hőszigetelő anyag hővezetésre. A növényi szálak többsége természetes állapotban csak nagy szerkezeti vastagságban képes hőszigetelésként funkcionálni, mivel ezen anyagok hőtechnikai paraméterei elmaradnak a mesterséges anyagokétól. A természetes szálak anyagtulajdonságai nagy szórást mutatnak akár azonos fajta estén is, ez nehezíti a belőlük előállított anyagok gyártásakor a minőség egyenletesség biztosítását. Külső hőszigetelő burokként ezen szálakból nagyon kis százalékban állítanak elő hőszigetelést, ellentétben a mesterséges anyagokkal. A BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriumában folyó kísérleteink alapján a mezőgazdasági tevékenységből származó szalma szerkezeti struktúrája miatt megfelelő kezelése után alkalmas alapanyag hőszigetelés gyártásához. Kötött és kötetlen természetes állapotú, gabonaszár esetén megalapítottuk a legalacsonyabb hővezetési értékhez tartozó halmazsűrűséget, amely mind a két esetben azonos értéket mutatott. Így felmerül a kérdés, hogy szárkezelés (akár több ciklusú) után is ez a halmazsűrűségi értéket kell-e megtartani vagy a szálhalmazt más a természetes állapothoz tartozó állandósított értékkel kell jellemezni, ilyen lehet a szártartalom/szármennyiség. A kutatásban kötött és kötetlen szárhalmazok hővezetésének változását mértük növekvő (paramétereiben megegyező) kezelési ciklus mellett, úgy hogy adott mintacsoporthoz vagy a halmazsűrűségét vagy a szármennyiségét tartottuk állandó értéken. A mért értékek mindkét állapotban azt mutatták, hogy kezelt szálak esetén állandó halmazsűrűség mellett kisebb mértékben csökkenthető hővezetés, mint konstans szármennyiség esetén. A cikk továbbá tárgyalja a szálak felületén található tapadást gátló réteg eltávolításának lehetőségét, amivel növelhető a szálak nedvesíthetősége. A megvizsgált UV besugárzás és ózonos kezelések közül az ózonos kezelés bizonyult hatékonyabbnak.

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

1. ELŐSZÓ ÉS MOTIVÁCIÓ

Ma a tudományos világban és az iparban is a fenntarthatóság az egyik legfontosabb tényező, emiatt az ipar minden területén megjelent az igény a természetes szálak alkalmazására. Ezen szálaknak általában van néhány kiemelkedő tulajdonsága amiért kiválasztják az adott funkcióra, de ezzel szemben egyéb tulajdonságokat fejleszteni kell (pl. tapadás) valamilyen mesterséges fizikai, kémiai vagy biológiai úton. Az építőipar kissé lemaradva egyéb területektől, szintén kezdi bevonni az anyaggyártási folyamatokba a természetes szálakat. Épületeink energiaigényének csökkentése az építőipar leghatékonyabb módszere erre a megfelelő hőszigetelés kialakítása. A széles körben használt hőszigetelő anyagok ma még a mesterséges nagyobb gyártási energiaigényű műanyaghabok, ásványgyapotok. Ezek hőszigetelő képessége jelenleg jobb, mint a természetes alapú vetélytársaiké [1], ezért szükséges a természetes anyagú szigeteléseket felzárkóztatni ezzel csökkentve az építőipar energiafelhasználását.

2. KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

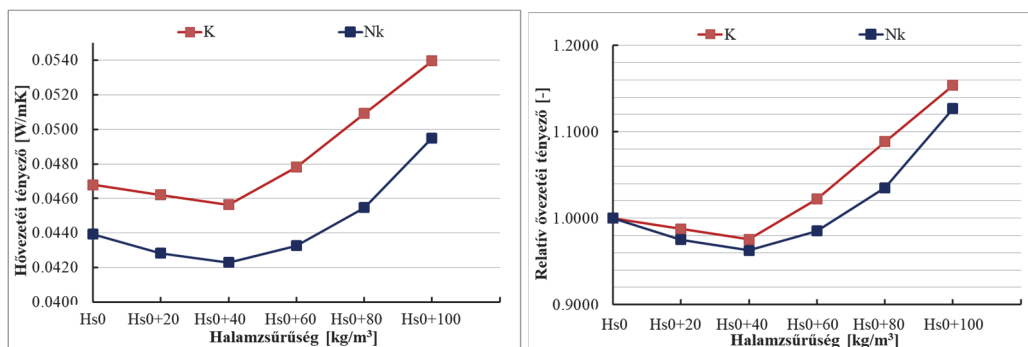
A növényi szálak leggyakoribb felhasználása szálerősítésként főleg a műanyag iparban jellemző, ebben az esetben az ágyazó mátrix és a növényi szálak közti tapadás a gyakori probléma. Polymer mátrixokba ágyazott természetes szálak felületmódosítási lehetőségeit vizsgálták Ferreira és társai [2] különböző fizikai kémiai és biológiai módszerekkel. Az építőipari mára reagált a változásokra és kezd terjedni a növényi szálak nagyobb mennyiségű felhasználását, a tapadási probléma hasonlóan a polimer mátrixokhoz itt is megjelenik [3]. Guangping és társai vizsgálták a gőzrobbanásos kezelés hatását szalmaszálak, morfológiájára, Ph értékének változására, nedvesíthetőségére, valamint hamu- és szilíciumtartalmára, hogy a szalmaszálakból készített táblásított anyag minőségét növelni tudják [4]. Gyakorta felmerül a lignocellulóz alapú szálak tartósságának és hidrofilitásának összefüggése. Hussain és társai vizsgálták a kender alap hőszigetelések mechanikai és higrotermikus tulajdonságainak változását, a kender higroszkóposságát csökkentő kezelés mellett [5].

Az építőiparban ma a legnagyobb mennyiségben használt hőszigetelő anyagok továbbra is a műanyag habok és ásványgyapot termékek (95%) [6]. A társadalom és az ipar (főleg finansziális nyomásra) átalakuló szemlélete miatt a természetes szálak alkalmazása az építőiparban növekszik [7][8]. A természetes növényi szál alapú hőszigetelések szén-dioxid lábnyoma szignifikánsan kisebb, mivel az alapanyagul szolgáló növények növekedésük során megkötik a széndioxidot, [9] illetve a gyártási energiaigény is csökkenthető [10] a mesterséges anyagok energiaigényéhez képest. A természetes hőszigetelések esetén a leggyakoribb alapanyagok a következők: len, kender [11], gyapjú [12], szalma, kukoricahéj [13], pamut, kókuszdió-héj [14].

A szalma építőipari felhasználásával foglalkozó kutatások főként szalmabálák [15][16] vagy természetes alapú szalma közvetlen felhasználásával foglalkoznak. Emellett még gyakran fellelhető 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 az anyag nem elég alacsony hővezetési tényezője a másik a szálak felületén lévő, tapadást gátló anyagok eltávolítása. Az szakirodalom azt mutatja, hogy a természetes szalma hővezetési tényezője leszorítható és fajtól függően a következő szélsőértékek közé esik (0,038-0,05 W/mK) [17], ezért megfelelő technológiával a mesterséges hőszigetelő anyagokkal versenyképesé tehető hővezetés szempontjából. Jó páradiffúziós képességeinek köszönhetően a növeli a bentlakók komfortérzetét. Gabonaszárak szerkezetének vizsgálatával foglalkozó tudományos munkákban általában a természetes szalma anyagtulajdonságait elemzik és nem annak módosítási lehetőségeit [18][19]. A tudományos munkákban nemrégiben megjelent a hőszigetelő panel gyártásának lehetősége szalmából, általában itt is a természetes anyagú szárazakat használják fel [20], viszont néhány munkában már a kezelt szálak használata is feltűnik valamely másik (nem szalma) természetes anyaggal társítva [21]. A szigetelő anyagként való felhasználás során a kezelés egyszerre több célt is szolgál, mert egy hőtechnikai és egy mechanikai követelményt is ki kell elégíteni. Általában kijelenthető, hogy ahogy egy fajta kezeléssel két tulajdonság közül az egyiket maximalizálni szeretnénk, azt a másik kárára lehet megfelelően megtenni. Ennek a két követelménynek megfelelő optimális szálkezelést kell megtalálni.

A kutatás korábbi szakaszában megvizsgáltuk a jelen cikkben tárgyalt szalma hővezetési tényezője és halmazsűrűsége közötti összefüggést kötetlen és kötött állapotban peremvédett fűtőlappal készüléssel, az MSZ EN 12667: 2001 és az MSZ EN 1946-2: 1999 szabványok alapján. Ebben a kísérletsorozatban hővezetési

eredmények 10° C-on mért hővezetési értékekre vonatkoznak, és négy egyedi mérési eredményen alapulnak. Jól látható, hogy a két típusú próbatestek hővezetési minimuma ugyanazon halmazsűrűségi értékhez tartozik és, hogy a kötőanyag növeli a hővezetés értékét (ábra 1).



1. ábra

A szárhalmaz hővezetésének és halmazsűrűségének összefüggése, peremvédett fűtőlapos készülékkel mérve: valós érték (balra), relatív érték (jobbra) (K-kötött, Nk-nem kötött)

3. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

3.1 Felhasznált anyagok

A vizsgálatokhoz olyan búzaszalmát használtunk, amelyet aratáskor speciálisan a számunkra készítve hosszú szálura hagyott az aratógép és a szárakból készült bála is kis halmazsűrűségű volt, hogy minél kisebb mértékben töredezzenek össze a csőszerű szárak. Az alapanyagot laborlevegőn takarva tároltuk és minden vizsgálat előtt tömegállandóságig szárítottuk. A kutatás első felében a próbatesteket kötőanyag hozzáadása nélkül készítettük a második felében a kötőanyag hozzáadásával. Mind a kötött mind a kötetlen szárhalmazok esetén ugyanazt a búza gabonaszárat használtuk fel, aminek testsűrűsége 0,1977-0,02295 g/m³ között változott.

Az alkalmazott szilikátalapú kötőanyag modifikálatlan kálium-szilikát, a kötőanyag modulja (SiO₂ / K₂O) 3,5-4,0, a sűrűség 1,2-1,3 g/cm³ között volt.

3.2 Vizsgálati módszertan

3.2.1 Hővezetési tényező mérése

A kutatás első szakaszában megvizsgáltuk a szárhalmazok testsűrűségét, porozitását, mikrostruktúráját és a hővezetési tényezőjét természetes kötetlen és kötött állapotban is (a következő vizsgálati paraméterek mind két állapotra vonatkoznak), hogy ezt referencia értéként használhassuk további kutatás során.

A vizsgált szárhalmaz hossza vetített egységnyi tömegét nagy számú minta felhasználásával meghatároztuk, így ennek és az egyes mintákba beadagolt száltömegnek az ismeretében számíthatóvá vált az egyes minták átlagos száltartalma is. Emellett a kezelések során a szálhalmaz által veszített tömeget is megmértük, így láthatóvá vált az egyes kezelési ciklusok hatékonysága továbbá meghatározható volt, hogy kezdetben (a kezelések előtt) mekkora tömegű szárat kell beadagolni, adott kezelési ciklusszám esetén a különböző próbatesthez. Fontos, hogy ezzel egyidejűleg a vizsgált szalma porozitás változását is monitoroztuk. Ezen mért értékek csak részben kerülnek bemutatásra a cikkben, de a módszertanban való említésük segíti a megértést.

A szárhalmazokat ezután azonos paraméterekkel (idő, hőmérséklet, szál/víz arány) rendelkező nedves hőkezeléseknek vetettük alá miközben a mintacsoportoknak vagy a halmazsűrűségét vagy a szármennyiségét tartottuk állandó értéken a kezelési ciklusszám növekedése mellett. Az előkísérletek alapján az alkalmazott ciklusszámot háromban maximalizáltuk. A kötetlen szálok esetében egy-egy kiindulási szálhalmazt minden kezelési ciklus után tömegállandóságig kiszárítottunk. Ezt a halmazt egy 150*150*50 mm-es mérődobozba helyeztük, majd megmértük a hővezetését (több eltérő véletlenszerűen összekevert szálelrendezésben) majd egy újabb ciklus kezelést végeztünk el a halmazon. Állandó halmazsűrűség mellett a szárhalmazt ki kellett pótolni újabb száralakkal, a kezelések okozta tömegvesztések miatt (jelük Hs-kezelésszám-próbatetszám-nem kötött/kötött), állandó szármennyiség (Sz-kezelésszám-próbatetszám-nem kötött/kötött) esetén az utolsó ciklusig ugyanazok a szárok kerültek a mérődobozba. Ezzel a módszerrel nagyrészt kizárható az, hogy a halmazt alkotó individuális szálok anyagtulajdonságainak szórása erősen befolyásolja a mérési eredményeket.

A kötött szárhalmazok szárait a kompozit gyártása előtt 1-3 ciklusban kezeltük, úgy hogy a ciklusok között nem csak az utolsó kezelés után történt visszaszárítás. Így a kötött szárhalmazok kezelési ciklusai némileg eltérnek a kezeléseket követő szárítások miatt, de ez a szálhalmazok tömegvesztését nem befolyásolta.

A szárított szárazakat kevertük a kötőanyaggal, hogy előállítsuk a száalkompozitot. A beadagolt kötőanyag és a kezdeti és természetes állapotú szárhalmaz (kezelés előtti) tömegaránya állandó volt, minden próbatestnél. A nedves kompozitot zsaluzatba töltve tömörítettük és szárítottuk. Az összes hővezetési tényező mérést egy ISOMET 2114 hordozható készülékkel és a hozzá tartozó felületi szenzorral végeztük. A méréseket klimatizált, állandó páratartalmú (relatív páratartalom 60%) és hőmérsékletű helyiségben végeztük (20 ± 2 °C). A cikkben relatív hővezetési tényezőket közlünk. A kísérleti összeállítást az ábra 2 mutatja. A közölt eredmények négy azonos típusú próbatestre vonatkoznak.

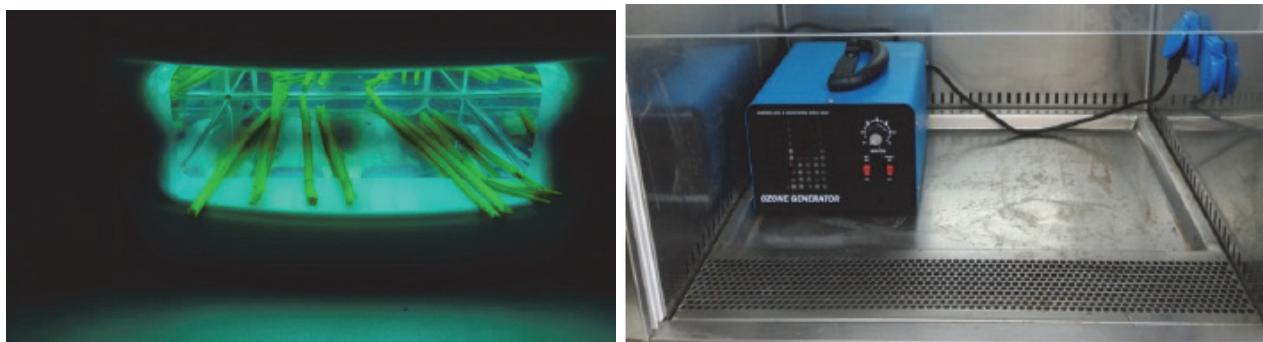


2. ábra

A kötetlen szárhalmaz hővezetésének mérése mérődobozban felületi szenzorral (balra) és kötött szárhalmaz hővezetésének mérése felületi szenzorral (jobbra)

3.2.2 Felületi kezelések

A felületkezelési kísérletek során az UV besugárzás és az ózonos kezelés hatását vizsgáltuk a szalma felületi struktúrájára, amiket minden esetben tömegállandóságig szárított próbatesteken végeztük el egyéni szálahoz. Minden közölt eredmény három mérés átlaga. Az UV fényes felületkezelések hatását 30, 60 perc besugárzással vizsgáltuk, úgy, hogy a fény a szárazak teljes külső felületét érte (ábra 3). Az ózonos kezelés hatását szintén 30, illetve 60 perces kezeléssel hajtottuk végre (ábra 3). Mindkét felületmodifikációt elvégeztük levéllel rendelkező és levél nélküli szárazakon is. Az eltérő felületkezelés célja a nedvesítési kontaktszög csökkentése volt, ezek hatásának ellenőrzésére a kezeléseket követően az egyes szalma mintákra 10 µl vízcseppet csepegtettünk, majd mikroszkóp alatt mértük a felület és a víz által bezárt kontaktszöget. A kezelt szálahoz eredményeit összehasonlítottuk a kezeletlen szálahoz referencia értékeivel.



3. ábra

A szárfelület modifikáció UV besugárzással (balra) és az Ózonnal (jobbra)

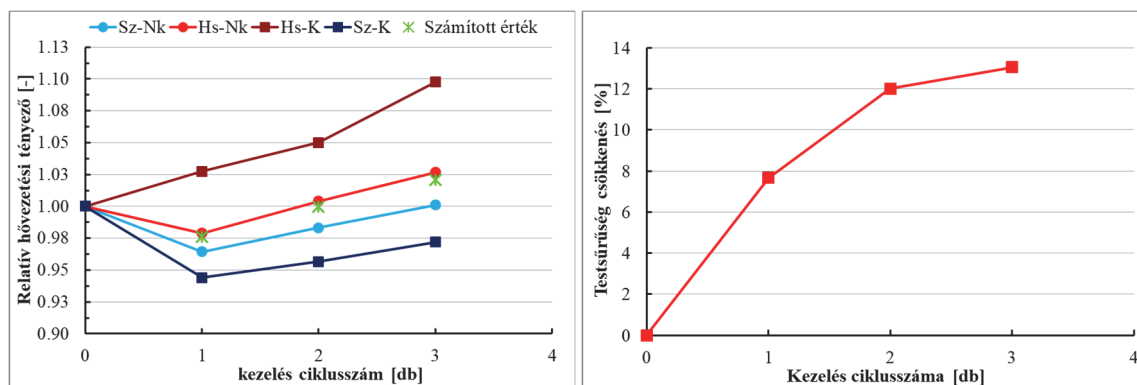
3.2.3 Szárahhoz mikrostruktúrájának változása

A szálahoz kezeléseket nem csak szálahalmazokon hanem véletlenszerűen kiválasztott szárból kivágott kis mintákon is elvégeztük, ezeket a szálahalmazok más-más területeiről vettük. A kezelés körülményei teljesen megegyeznek a szálahalmazok kezelése során alkalmazottal. A szálahoz mikrostruktúráját természetes állapotban, majd minden ciklus után a keresztmetszet azonos helyein, elektronmikroszkóp használatával vizsgáltuk. Ez lehetőséget biztosított arra, hogy a kezelésekre hatására a hővezetésben bekövetkező változások magyarázatát megjelöljük. Továbbá a szálahoz porozitás változásának feltételezett hatását összevessük a mikrostruktúra változásának hatásával.

4. ÉRTÉKELÉS ÉS MEGÁLLAPÍTÁSOK

4.1 Szálhossz változásának hatása a hővezetésre

Az alkalmazott mérési módszerrel kimérhető a szálkezelés hatására bekövetkező hővezetési tényező csökkenés növekvő kezelési ciklus mellett, mind kötetlen mind kötött szárhalmazok esetén. Ez állandó szármennyiség illetve kötőanyag nélküli halmazoknál dominánsabb, mint állandó halmazsűrűség illetve kötőanyag használata mellett. Fontos, hogy a kezelésekre miatti, szárhalmaz tömegvesztésének eredményei folyamatosan növekvő tendenciát mutatnak, viszont a szálak térfogata nem csökken számottevően, így belátható, hogy a száraz testsűrűsége csökken (ábra 4), így porozitása növekszik. Ez azt feltételezi, hogy a hővezetés folyamatosan csökken a növekvő levegőtartalom miatt, ezzel szemben a szálkezelés hővezetési tényezőt redukáló képessége a ciklusok előrehaladásával csökken (ezt a jelenséget 4.3 pontban részletesebben is elemezzük). Konstans halmazsűrűség mellett bármely ciklus után a hővezetés csökkenése kisebb, mint konstans szármennyiség mellett, továbbá a konstans halmazsűrűségű kötött szárhalmazok hővezetése már az első ciklus után növekedni kezd (ábra 4). A ciklusszám növekedésével a hővezetés is növekszik bármely típusú mintánál. A konstans halmazsűrűség melletti kisebb hővezetési tényező csökkenés (egy esetben növekmény) oka az, hogy miközben az egyéni szál hővezetése lecsökken, a szálak mennyisége növekszik az állandó térfogatú térben. Ez a jelenség nagyon hasonló ahhoz, amit a természetes állapotú szalma halmazsűrűségének növekedése közben tapasztalunk (ábra 1.: $Hs+40 \text{ kg/m}^3$ - $Hs+60 \text{ kg/m}^3$ közt), de ebben az esetben a halmazsűrűség nem, csak a szálsűrűség növekszik. Tehát miközben a kezelés csökkenti a szárhalmaz hővezetését, a nagyobb szálsűrűség növeli. Fontos észrevétel, hogy kötetlen állandó halmazsűrűségű szárhalmazok adott ciklus utáni relatív hővezetése közelítőleg megkapható az állandó szármennyiségű halmazoknál tapasztalt relatív hővezetésnek illetve a szársűrűség hatására megváltozó relatív hővezetés szorzataként (ábra 4). A két hatás közül a kötött próbatestekénél a szálak sűrűségének növekményét torzítja a bevitt kötőanyag többlet ez az oka az eltérő viselkedésnek.

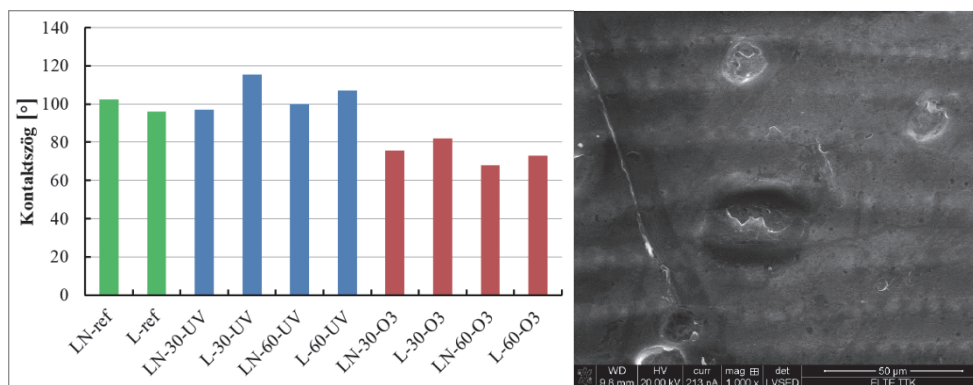


4. ábra

Szálhalmazok relatív hővezetése a kezelési ciklusok függvényében. Sz-Nk: állandó szártartalom-nem kötött, Hs-Nk: állandó halmazsűrűség-nem kötött, Sz-K: állandó szártartalom-kötött, Hs-K: állandó halmazsűrűség-kötött (balra), A szálak testsűrűségének csökkenése.

4.2 Felületi kezelések hatása a nedvesítési szögére

A kezeletlen, referencia, levél nélküli (LN) és leveles (L) szálakon mért kontaktszögek átlaga rendre 102° és 96° . A 30 és a 60 perces UV besugárzásos kezelés nem tudta csökkenteni a kontaktszöget, néhány esetben a mérések átlaga meg is haladta a referencia értéket (LN-30-UV: 97° , L-30-UV: 115° , LN-60-UV: 100° , LN-30-UV: 107°). Ez a természetes anyag tulajdonságainak szórásából ered, a kezelés hatásmechanizmusa nem indokolja az eredmények romlását. A 30 és a 60 perces ózonos kezelés hatékonyan tudta csökkenteni a kontaktszöget, így növelve a szál nedvesíthetőségét. Tehát kijelenthető, hogy a természetes szálakon a víz nem nedvesítő folyadékként viselkedik, szemben az ózonos kezelésnek alávetett szárral ahol a víz már nedvesítő folyadékként jelenik meg. A kontaktszög csökkenésének oka a felületi viaszszerű réteg degradációja, ahogy azt a felületről készült elektronmikroszkópos felvétel is mutatja (ábra 5).

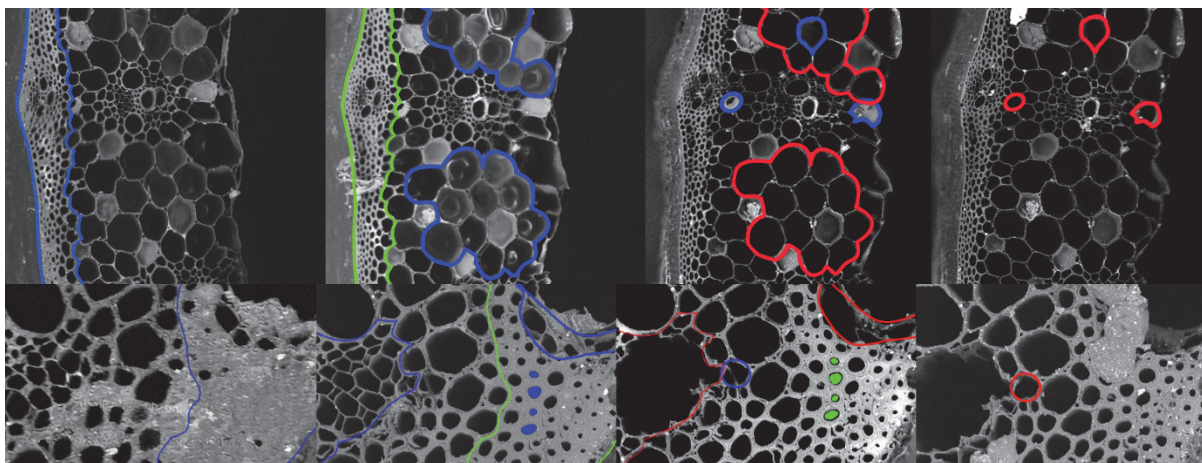


5. ábra

A szárfelület és a víz közötti kontaktszög a referencia szár felületmodifikált szárok esetén (balra).
Ózonos felületkezelés után a szárfelület viaszrétegének sérülései (jobbra)

4.3 Szárok mikrostruktúrájának változása

Ahogy a 4.1 fejezetben tárgyaltuk a porozitás a kezelés ciklusszámának előrehaladtával növekszik. Ez jól látható az *ábra 6 A, B* kép részei közti különbségeken ahol a szárfal külső részében több és nagyobb pórust láthatunk az elő kezelés után, emellett a szárfalat alkotó “csövecskéket” a szár hossza mentén a határoló hárttyákat a kezelés enyhén felfújja/tágítja. A további kezelése során ezek a hárttyák hasonló okból roncsolódnak, néhány vékonyabb pórusfal feloldódik a kezelése során, illetve ezek a csövecskék finoman kezdenek elválni egymástól. Az említett sérülések miatt a gázok szabadabban tudnak mozogni a szárfalban, aminek a hatására sokkal intenzívebbé válik a részecskék közötti energiaátadás. Ez jól mutatja, hogy a porozitás növekedése csak akkor előnyös a hővezetés csökkentése szempontjából, ha mellette a megfelelő pórusszerkezet is megmarad.



6. ábra

Szálkezelés ciklusszámának hatása a hővezetési szál mikroszerkezetére.
Kék-zöld: pozitív változás, Kék-piros negatív változás

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásban kötött és kötetlen szárhalmazok hővezetésének változását vizsgáltuk a kezelés ciklusszám függvényében, illetve a szárok felületmodifikációjának lehetőségét. A kísérleti eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a szárhalmazok hővezetése csökkenthető megfelelő számú kezeléssel, de ezen túllépve a hővezetés ismét romlani kezd, tehát a kezelése ciklusszámának hővezetés szempontjából létezik egy optimális értéke. Ez a hővezetés redukció csak akkor hatékony, ha a kezelés hatására megváltozó testsűrűségű szárból alkotott szárhalmaz szármennyiségét tekintjük állandó értéknek. Kötetlen állandó halmazsűrűségű szárhalmazok adott ciklus utáni relatív hővezetése közelítőleg megkapható az állandó szármennyiségű halmazoknál tapasztalt relatív hővezetésnek illetve a szársűrűség hatására megváltozó relatív hővezetés szorzataként. A vizsgálatokból kiderül, hogy annak ellenére, hogy a kezelése előrehaladtával nő a szárok porozitása ezzel együtt a hővezetés csak korlátozott ciklusszámig csökken. Ennek oka a szárfal szerkezetében bekövetkező, több komponensből álló roncsolódás. Az alkalmazott felületmodifikációk közül az ózonos kezelés képes hatékonyan növelni a szárok felületének nedvesíthetőségét.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönik az NVKP_16-1-2016-0019 számú pályázat támogatását a pásztázó elektronmikroszkópos mérésekben. A szerzők köszönetet mondanak a Kék Bolygó Alapítványnak, hogy általa működtetett kutatási munka ösztöndíjon keresztül támogatta jelen kutatást.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J. Bull, “Embodied Carbon of Insulation,” *Embodied Carbon of Insulation*, 2012. [Online]. Available: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-carbon-of-insulation/>.
- [2] D. P. Ferreira, J. Cruz, and R. Figueiro, “Surface modification of natural fibers in polymer composites,” in *Green Composites for Automotive Applications*, 2018, pp. 3–41.
- [3] 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.*, vol. 99, pp. 102–112, 2017.
- [4] G. Han, J. Deng, S. Zhang, P. Bicho, and Q. Wu, “Effect of steam explosion treatment on characteristics of wheat straw,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 31, no. 1, pp. 28–33, 2010.
- [5] A. Hussain, J. Calabria-Holley, M. Lawrence, and Y. Jiang, “Hygrothermal and mechanical characterisation of novel hemp shiv based thermal insulation composites,” *Constr. Build. Mater.*, 2019.
- [6] D. Bozsaky, “The historical development of thermal insulation materials,” *Period. Polytech. Archit.*, vol. 41, no. 2, p. 49, 2010.
- [7] F. Asdrubali and U. Desideri, “Handbook of energy efficiency in buildings: A life cycle approach,” *Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach*. pp. 1–836, 2018.
- [8] A. G. Ene and C. Mihai, “Eco-friendly thermal insulation structures based on natural and biodegradable materials for environmentally durable development,” in *Solid State Phenomena*, 2020, vol. 305 SSP, pp. 97–102.
- [9] C. Magwood, “Best Walls for Building a Home.,” *Mother Earth News*, vol. 274, no. February/March, pp. 52–56, 2016.
- [10] L. Aditya *et al.*, “A review on insulation materials for energy conservation in buildings,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 73. pp. 1352–1365, 2017.
- [11] S. Vaitkus, R. Karpaviciute, S. Vejelis, and L. Lekunaite, “Development and research of thermal insulation materials from natural fibres,” in *Key Engineering Materials*, 2014, vol. 604, pp. 285–288.
- [12] I. Florea and D. L. Manea, “Analysis of Thermal Insulation Building Materials Based on Natural Fibers,” in *Procedia Manufacturing*, 2019, vol. 32, pp. 230–235.
- [13] 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.*, vol. 20, 2019.
- [14] S. Panyakaew and S. Fotios, “New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 7, pp. 1732–1739, 2011.
- [15] 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.*, vol. 124, pp. 336–341, 2017.
- [16] *Nonconventional and Vernacular Construction Materials*. 2016.
- [17] 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.*, vol. 8, pp. 91–98, 2016.
- [18] M. Bouasker, N. Belayachi, D. Hoxha, and M. Al-Mukhtar, “Physical characterization of natural straw fibers as aggregates for construction materials applications,” *Materials (Basel)*, vol. 7, no. 4, pp. 3034–3048, 2014.
- [19] J. Vėjelienė, “Processed Straw As Effective Thermal Insulation for Building Envelope Constructions,” *Eng. Struct. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 96–103, 2012.
- [20] A. Bakatovich and F. Gaspar, “Composite material for thermal insulation based on moss raw material,” *Constr. Build. Mater.*, 2019.
- [21] M. Viel, F. Collet, and C. Lanos, “Development and characterization of thermal insulation materials from renewable resources,” *Constr. Build. Mater.*, 2019.