

Természetes anyagok szigetelőképessége

RÉBÉK-NAGY Péter¹, PÁSZTORY Zoltán¹

¹NymE SKK Innovációs Központ

Kivonat

Az energia minél célszerűbb felhasználása a mai kutatómunkák egyik fő témája. Ennek fontos összetevője az épületek energiafogyasztásának csökkentése. Így egyre nagyobb figyelmet fordítunk az épületeink hőszigetelő anyagának megfelelő megválasztására. Nem csak az anyagok hőszigetelőként nyújtott teljesítménye a fontos, hanem a környezetbarát mivoltuk is. Természetes, növényi és állati eredetű anyagok szigetelőképességét vizsgáltuk és hasonlítottuk össze különböző tömörítettség mellett. Az eredmények alapján a madártoll és a gyapjú mutatták a legjobb szigetelőképeséget szemben más anyagokkal, mint pamutfonal, eröműből származó fahamu, haj, állati szőrme, faforgács, valamint óriás mamutfenyő tűlevél.

Kulcsszavak: gyapjú, madártoll, hőszigetelés, hővezetési tényező, eröművi fahamu, faforgács

Thermal performance of natural materials

Abstract

The most effective use of energy is a popular research topic nowadays. The energy consumption of buildings is an important component of this. Thus, more and more attention is paid to choosing the proper thermal insulation of our buildings. Not only the thermal performance of the materials is important, but their environmental friendly nature, too. For this reason, thermal conductivity of several natural materials including wool, cotton yarn, feather, wood ash from a power station, hair, fur, wood chips and Sequoia pine needles was investigated at different levels of compaction. Feather and wool showed the best thermal performance among the materials investigated.

Keywords: wool, feather, thermal insulation, thermal conductivity, ash, wood chips

Bevezetés

A kutatómunka célja

Az épületek egyik fő feladata mindig is az időjárási viszonyok elleni védelem volt. Az egyik ilyen időjárási tényező a hőmérséklet változása. Korábbi évszázadokban a falak vastagságával szabályozták a ház falainak szigetelőképességét, szemben a mai speciális szigetelőrétegek alkalmazásával (Albert 1962). A falszerkezetek extra rétegeként alkalmazott hőszigeteléseket eleinte természetes anyagokból készítették, majd a habosított műanyag és az olvasztott és szálalított üveg és ásvány alapú szigetelések váltak uralkodóvá. Azonban az épületek szigetelési paramétereire egyre szigorodó épületenergetikai előírások vonatkoznak (Zach és tsai. 2012, Pásztory 2007). Az ilyen irányú szigorítások az épület üzemeltetése során felhasznált tüzelőanyag mennyiségét redukálják, nem foglaloznak a beépített energia (embodied energy) mennyiségével. A beépített energia mennyisége az az energia, amelyet az adott termék előállításánál felhasználtak. A környezettudatos gondolkodás ezt az energiamennyiséget is figyelembe kívánja venni és lehetőség szerint alacsony szinten tartani, annak érdekében, hogy az épületek létrehozása se terhelje nagyobb mértékben a környezetet, mint amennyire feltétlenül szükséges (Bejó és tsai. 2013).

A szabályozások folyamatos változásából eredő megnövekedett szigetelési igényeket általában olcsóbb ki-elégíteni a manapság általánosan használt, szintetikus szigetelőanyagokkal, melyek beépített energiataralma jelentősen magasabb, mint a természetes alapanyagú szigetelőanyagoké. Ezen anyagok előállítása környezeti szempontból nagyobb terhelést jelent.

A folyamatosan lakott lakások száma a népességünk csökkenése ellenére is növekszik a háztartások elaprózódásának következtében (Elek 2009). Egyre kevésbé jellemző a több generáció együttélése. Ez a tény a hőtechnikai előírások szigorodásával együtt a hőszigetelések mennyiségi felhasználásának növekedéséhez vezet. Ez azt is jelenti, hogy a szigetelőanyagok előállítására fordított energiafogyasztás is folyamatosan emelkedni fog. Az épületek üzemeltetése a világ összes energiafogyasztásának 45%-át teszi ki (Zöld 1999), amelynek egyik fő összetevője a fűtésre fordított energiamennyiség. A nagymértékű fűtési energiafogyasztás csökkenthető lenne a szigetelőanyagok vastagságának, jellegének helyes megválasztásával és precíz installálásukkal, a beépített energia pedig csökkenthető a környezetbarát anyagok felhasználásával. Mindezek tudatában törekednünk kell olyan hőszigetelő anyagok alkalmazására, melyek természetes eredetűek, előállításuk gazdaságos, kímélik a környezetet és mindezek mellett anyaguk időtálló.

Jelen kutatómunka célja különböző természetes eredetű anyagok hővezetési tényezőinek meghatározása. A vizsgálatba bevont anyagok a következők: gyapjú, pamutfonal, madártoll, fahamu, haj, állati szőrme, marógép faforgácsa, valamint óriás mamutfenyő tűlevél. A kapott eredményeket kiértékelve meg kívánjuk határozni, hogy a vizsgált anyagok közül a hővezetési tényező szempontjából melyik javasolható potenciálisan hőszigetelő anyagként.

Tudományos előzmények

E témában más kutatók is végeztek már vizsgálatokat (Bozsaky 2011, Ronyecz és tsai. 2012). Panyakaew és Fotios (2008) a mezőgazdasági hulladékok hőszigetelő anyagként történő felhasználási lehetőségeit vizsgálták. A vizsgált anyagok közül a rizshéjat (0,046–0,057 W/mK), a kipréselt cukornádat (0,046–0,051 W/mK) és a kókuszrostot (0,054–0,143 W/mK) találták a legalkalmasabbnak hőszigetelés gyártására. Mások természetes kaucsuk kötőanyaggal előállított táblásított terméket (vastagság 1,5 cm) vizsgáltak különböző kötőanyag-arányok mellett. Az ananászlevél-tábla 0,043–0,035 W/mK hővezetési tényező értékkel (λ) rendelkezett. A papirusz növényből készült tábla pedig 0,029 W/mK értéket ért el (Tangjuank és Kumfu 2011). Vėjelienė és társai (2011) a gyékény, az *Agrostis* fűféle, a nád és az árpa mikro- és makroszerkezetének vizsgálatával igyekeztek magyarázatot adni a hőtani tulajdonságaikra. A gyékénnyel 0,06 W/mK érték alá tudtak menni. Volt olyan kutató is, aki poliészter gyantával külön-külön fehér tollból, fekete tollból, jutából és tojásból készített kompozit tömörítvényeket. A juta tömörítvény érte el a legjobb λ értéket ~0,300 W/mK-t (Fadhel 2011). Egy kutatótársaság pedig az úgynevezett „Triple bottom line” analízissel vizsgálta a bambuszból és pamutból készült hőszigetelések költségvonzatát, környezeti hatását és a társadalomra gyakorolt hatását (Jafarian és tsai. 2011). Egy 2012-es tudományos munka eredményeként Pinto és társai (2012) az általuk előállított kukoricacsutka-tábla λ értéket 0,139 W/mK-nak mérték. Egy másik kutatás az olajpálma rostjának λ értékét 0,0555 W/mK-ben állapította meg 20 °C-on és 100 kg/m³-es sűrűség mellett (Manohar 2012). Egy hasonló témájú tanulmány a gyapjú λ értékét 0,036 W/mK-ben adja meg (Zach 2012). Rahul D. (2012) áttekintő munkájában pedig összehasonlítja a korszerű szigetelőanyagokat, melyek között számos természetes hőszigetelés λ értéke is szerepel. Egy 2013-as kutatómunkában egy speciális rétegrendű (2 cm vakolat, 4 cm óriásnád, 2 cm vakolat) falszerkezet hőtechnikai tulajdonságait mérték. A vizsgált szerkezet hőátbocsátási tényezője $U=1,31$ W/m²K (Barreca és Fichera 2013). Úgyszintén ebben az évben a textilhulladék hőszigetelő anyagként történő felhasználásának potenciálját is vizsgálták, ahol a λ értékre 0,044 W/mK-t kaptak (Briga-Sá és tsai. 2013). A felsorolt tanulmányok egy része nem ad részletes útmutatást a vizsgált anyagok tömörítettségi állapotáról. Tapasztalataink alapján ez nem is egyszerű feladat, hiszen a tömörítettséget számos nehezen mérhető tényező is befolyásolja, így a méréseink során nem minden esetben tudtuk meghatározni a tömörítettség vagy sűrűség adatokat.

Vizsgálati anyagok és mérési módszerek

A méréseket gyapjú, pamutfonal, madártoll, erőművi fahamu, haj, állati szőrme, faforgács – 60% lucfenyő (*Picea abies*) és 40% bükk (*Fagus sylvatica*) –, valamint óriás mamutfenyő (*Sequoiadendron giganteum*) tűlevél bevonásával végeztük el. Közülük a legtöbb – a madártollat is ideértve – szálas (rostos) anyag. A forgács anyaga porózus szerkezetű gyalugép forgács, az egyes forgács elemek dimenziója 10–15 mm hosszú, 5–15 mm széles és 0,5–1 mm vastag. A forgács elemek dimenziója nyilvánvalóan befolyásolja a forgács levegő részarányt, az összennyomhatóságot és az elemek érintkezési felületeit. A hamu (Pannon Power Zrt. faapríték-tüzelésű erőművi blokkjának hamuja) finom por jellegű, vagyis nagy testsűrűségű tömör anyagként jelenik meg.

A szigetelő hatást az anyag által közbezárt levegő mennyisége és a légzárványok mérete jelentősen befolyásolja. A vizsgálatok során törekedtünk arra, hogy a levegő arányt az anyag összenyomásával változtassuk és így határozzuk meg a szigetelésre gyakorolt hatást.

A mérések során stacioner állapotban vizsgáltuk az anyagokat. Állandósult állapotról beszélünk, ha a hőmérsékletmező nem függ az időtől, tehát időben állandó (Mihajev 1966). Hőmérsékletmező alatt pedig egy adott pillanatban a tér pontjai és pontjainak hőmérsékletei közti összefüggést értjük. Más szavakkal: a vizsgált test- vagy térrész pontjaiban uralkodó hőmérsékletek összessége és megoszlása a hőmérsékletmező. Ideális esetben a hőáramnak a mérési felületre merőlegesnek kell lennie. Ez az egydimenziós hőáram csak tökéletesen párhuzamos és végtelen kiterjedésű felületek között jöhet létre (1. ábra).

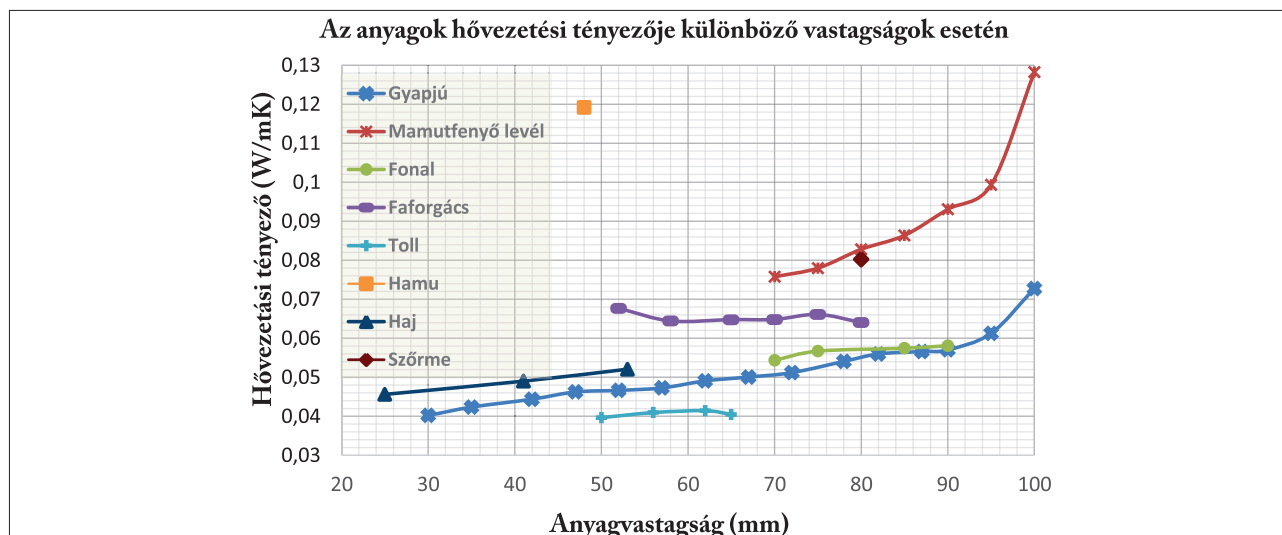
A valóságban ezt úgy tudjuk megközelítőleg kivitelezni, ha a próbadarab vastagsága a szélességi méreteihez képest jóval kisebb, továbbá a mérést 200 mm oldalsó hőszigetelő réteggel körülvett tartályban végezzük (1. ábra). A mérőműszer felső részén elhelyezett fűtőlaptól indul meg a hőáramlás az alsó fűtetlen szobahőmérsékletű lap felé. A fűtőlap hőmérsékletét minden esetben 40 °C-ra, állítottuk a hideg oldal pedig a környezeti hőmérséklet (~22 °C) volt. A hőmérsékleteket mind az alsó fűtetlen, mind a felső fűtött lapon két-két termoelemmel mértük, a hőáramot a meleg oldalon egy 120 x 120 mm felületű hőáram mérővel. Minden érzékelő a próbatest vízszintes felületeinek geometriai középpontjánál helyezkedett el. A próbatest keresztmetszeti mérete 500 x 500 mm, vastagsága pedig 25–100 mm közötti. A méretekből látható, hogy a próbatest mérete többszöröse a mérési felületnek, így az oldalirányú hőáramok a középső mérési sávban gyakorlatilag nullának tekinthetők. Amelyik anyag összenyomható volt, azt többszöri mérésnek vetettük alá különböző vastagsági méret beállításával. Vagyis ugyanazt a mennyiségű anyagot mértük meg különböző vastagság esetén. A rendelkezésre álló anyagmennyiségtől és anyagstruktúrától függően induló értéknek 100 mm-t választottunk és ezt csökkentettük 5 mm-rel minden egyes mérésnél, lehetőség szerint addig, amíg az összenyomást a mérőkészülékben meg tudtuk valósítani. Több anyag esetén nem volt lehetőség a 100 mm-es induló érték beállítására, így ezeknél kisebb vastagságról indult a mérés. A fahamu és a szörme esetén az összenyomást nem tudtuk biztosítani, így csak egy vastagság mellett végeztünk mérést. A mérés a stacioner állapot beálltát követően kezdődött meg, az adatlekérés percenként egyszer automatikusan történt. Az eredmények kiértékelése során az utolsó 100 mérés átlagát határoztuk meg.

Mérési eredmények és értékelésük

Az egyes vizsgált anyagok hővezető képessége a tömörítés függvényében a 2. ábrán látható. Az anyagok tömörítése során sok esetben a szigetelési értékek javultak. Nem minden esetben értük el azt a váltópontot, mely után a további tömörítés már a λ értékének a növekedését eredményezné. A szigetelőanyag összenyomásával a levegő mennyisége csökken a rendszerben, ezáltal a levegő szabad áramlása is korlátozódik, csökkentve a konvekciós hőáramot, amely a nyugvó levegő alacsony hővezetési képességének a jobb kihasználtságát eredményezi. Tehát a rendszer egészére vonatkozó szigetelőképeség javul. Azonban egy bizonyos mértékű tömörödést meghaladva a levegő olyan mértékben kiszorul az anyagból, hogy a tömör szigetelőanyag hővezetése veszi át a domináns szerepet, így a rendszer szigetelőképesége újra romlani kezd. Más szavakkal: ettől a ponttól kezdve minél jobban tömöríténénk az anyagot, annál kedvezőtlenebb (nagyobb) hővezetési tényezőt kapnánk (Rébék-Nagy 2013). A nagyobb fokú tömörítés nagyobb erőhatással jár, amit a mérőberendezés szerkezete csak korlátozott mértékben tudott felvenni, így nem minden esetben tudtuk a szigetelési érték további növekedését kimutatni. A mérőtérbe kerülő anyagmennyiségeket nem súlyban, hanem térfogatban határoztuk meg úgy, hogy az adott anyag szabadon töltsse ki az induló teret. Ez az érték természetesen változó volt a különböző anyagok esetén (2. ábra).



1. ábra Gyapjú a mérőtérben
Figure 1 Wool in the measuring box



2. ábra A vizsgálati anyagok λ értéke különböző vastagságok esetén

Figure 2 λ value of the materials at different thicknesses

A gyapjú görbét vizsgálva látható, hogy a meredeksége egyre csökken és így várhatóan további tömörítéssel elértük volna a függvény minimumát, tehát feltételezhetően $0,04 \text{ W/mK}$ alá tudtunk volna menni, amit az irodalmi értékek is alátámasztanak (Zach 2012).

A mamutfenyő levelének vizsgálatakor a hővezetési tényező görbéje egyre csökkenő meredekséggel tartott a minimum ponthoz tartozó tömörség felé. Ezt a pontot sajnos a mérések során nem sikerült elérnünk, de vélhetően kismértékű további tömörítés hatására már észleltük volna, azaz $0,075 \text{ W/mK}$ -nél nem tudnánk sokkal kedvezőbb eredményt elérni a mamutfenyő levél esetében.

A pamutfonal esetében a görbe változó meredekségű. Egy köztes tömörítettségi állapotban, 75 mm és 85 mm között láthatjuk a legkisebb hajlásszögű szakaszát. Ezen jelenség magyarázata az, hogy a fonalgombolyagok hengeres üregeinek tengelye párhuzamos volt a hő terjedési irányával. A mérés elején (90 mm -nél) ezek az üregek még teljesen nyitottak voltak, majd ahogy egyre jobban összenyomtuk a fonalakot, úgy záródtak össze. Mikor végül a tömörítés hatására ezek az üregek eltűntek és a fonalak összeértek, csökkent a konvekció létrejöttének lehetősége, és egyre jobb λ értéket kaptunk. A görbe meredeksége azt sejteti, hogy további tömörítéssel kedvezőbb eredményt érhetünk volna el.

A faforgács görbén egyértelműen látszik, hogy az összenyomás mértékéhez képest kis hővezetési változások történtek, melyek arra engednek következtetni, hogy a forgácssűrűség ebben a tartományban csak nagyon minimális mértékben befolyásolja a hővezetést. Sajnálatos módon a mérőberendezés nem tett lehetővé nagyobb mértékű összenyomást.

A madártoll görbén a forgácshoz hasonló jelleg mutatkozik meg. Szemben a többi anyaggal, ahol az összenyomás hatására a hővezetési értékek csökkennek, itt először enyhe növekedés, majd enyhe csökkenés következik be. A mérés során fellépő bizonytalanságokat sem zárhatjuk ki teljes egészében, habár a végeredmény 100 mérési eredmény átlagolásával történt, ami a mérési hibát meglehetősen minimalizálja.

Az erőművi hamu esetében szóba sem jöhetett tömörítés, hiszen finom por jellegű volt az anyag, a berendezés pedig nem alkalmas jelentősebb erőhatások felvételére a tömörítés során. Így nem meglepő módon meglehetősen kedvezőtlen hővezetési tényezőt kaptunk.

A haj esetében a λ változását bemutató görbe csaknem egyenes. Feltételezhetően további tömörítés jelentősebb javulást eredményezne a hővezetési tényező értékében. A téli időszakban a tömörebb haj jobb fajlagos szigetelést biztosít a fej számára, de a hővezetési ellenállást tekintve a lazább hajszerkezet nagyobb hővédelmet biztosít.

A szőrme esetében a kedvezőtlen eredmény magyarázata valószínűleg abban rejlik, hogy a bundák szabálytalansága miatt nem tudtuk tökéletesen összeilleszteni a rétegeket, a kialakuló légréseknél pedig nagyfokú cirkuláció alakulhatott ki. Hozzáteesszük, hogy nyári bundáról volt szó, amely minimális alapszőrzzel és pehelyszőrzzel rendelkezett.

1. táblázat A vizsgálati anyagok által elért legjobb hőszigetelési értékek és az ehhez tartozó vastagságok

Table 1 Thicknesses providing the best insulation values of the investigated materials

	Gyapjú	Mamut-fenyő tű	Fonal	Toll	Hamu	Haj	Szörme	Faforgács
Vastagság (mm)	30	70	70	50	48	25	80	80
λ (W/mK)	0,040	0,076	0,054	0,040	0,119	0,046	0,080	0,064

A fenti anyagokat a hőszigetelő-képességük alapján három plusz egy kategóriába sorolhatjuk. A manapság általánosan használt hőszigetelések λ értéke 0,04 W/mK körül mozog (Rahul 2012), de többségében alatta marad. Ezért hőszigetelőként jól használható anyagnak azt tekintjük, amely a méréseink alapján ezen érték alatt van, vagy további tömörítéssel feltételezhetően elérné ezt a kedvező tartományt. Ide soroljuk a gyapjút és a madártollat. A hőszigeteléseként közepesen használható kategóriába azok az anyagok estek, melyek λ értéke 0,04–0,07 W/mK között található. Ide tartozik a fonal, és a faforgács. Hőszigeteléseként gyengén használható a mamutfenyő levél és a bunda, melyek λ értéke 0,07–0,08 W/mK közé esik. Az ennél rosszabb eredményt elérő hamut alkalmatlannak ítéltük meg hőszigetelő anyagként való felhasználásra (1. táblázat).

Következtetések

- Megállapítható, hogy a madártoll az elért hővezetési tényező ($\lambda = 0,0396$ W/mK) alapján egyértelműen ajánlható hőszigetelési célokra. A baromfiiparban nagy mennyiségű toll keletkezik melléktermékként, és – mivel a toll főként keratinból épül fel –, ezért nehezen bomlik le, tehát viszonylag tartós.
- A gyapjú hőszigetelő anyagként való használata már gyakorlatban van. Az alkalmasságát a mi méréseink is alátámasztották. Az iparban a lenyírt gyapjút 30–70%-át tudják csak ruhaipari célokra felhasználni. A maradék 25–70% (juhajtva függvénye) a szennyezett gyapjút, ami hőszigetelés gyártásra alkalmas lenne. Tartóssága is kielégítő (Radnóti 1967, Zilahi 1953).
- A faforgács hőszigetelő anyagként való használata kísérleti szinten zajlik. Németországban egy szabadalmaztatott technológiát is alkalmaznak a forgácsszigetelések gyártására. A mi méréseink alapján meglehetősen elmarad a manapság alkalmazott hagyományos hőszigetelő anyagok hőtechnikai tulajdonságaitól, habár a rost alapú szigetelő táblák értékei is 0,5–0,7 W/mK környékén vannak.

A természetes alapanyagú anyagok között találhatóak kifejezetten jó szigetelőképeséggel bíróak, ezek főként állati eredetűek, mint a gyapjú és a madártoll. Gyakorlati szempontból e kettő mellett alkalmas lehet a faforgács, mely kellő mennyiségben koncentráltan keletkezik és további kezelésekkel szigetelőanyaggá dolgozható fel. A fenyőtű, hamu és a szörme tulajdonságaik és begyűjthetőségük miatt csak nagyon alacsony valószínűséggel alkalmazhatóak szigetelőanyagként.

A haj esetében már előre valószínűsíthető volt, hogy szigetelőanyagként való alkalmazása nem jöhet szóba, csupán összehasonlítási céllal vettük be a vizsgálandó anyagok közé. A fonal természetes alapanyagú termékként és a textilipari hulladékok képviselőjeként került a vizsgálatba.

A természetes anyagok előállítása nem terheli a környezetet az előállítás/keletkezés során szén-dioxid kibocsátással, ezért ezek az anyagok a szigetelési képességükhöz képest nagyon kedvező beépített energiatartalommal rendelkeznek. Jelentősebb alkalmazásuk esetén további specifikus vizsgálatok szükségesek.

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a Környezettudatos energia hatékony épület című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Albert, J. (1962) A hőszigetelés kézikönyve. Műszaki könyvkiadó, Budapest
- Barreca F., Fichera C. R. (2013) Wall panels of *Arundo donax* L. for environmentally sustainable agriculture buildings: Thermal performance evaluation. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 11(2):1353-7.
- Bejő L., Szabó P., U. Nagy G., Kuzsner Á. (2013) Az energiátanúsításon túl: a környezetterhelés értékelése, különös tekintettel a fa alapú építés esetén. *Faipar* 61(4):26-30

- Bozsaky D. (2011) Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, doktori (PhD) értekezés, Széchenyi István Egyetem, Győr
- Briga-Sa A., Nascimento D., Teixeira N., Pinto J., Caldeira F., Varum H., Paiva A. (2013) Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials* 38:155–160
- Elek L. (2009) A háztartások energiafogyasztása. Az Energia Központ Nonprofit Kft. elektronikus kiadványa – http://www.mekh.hu/gcpdocs/201201/haztartasok_energiafogyasztasa.pdf
- Fadhel A. A. (2011) Theoretical and experimental investigation of natural composite materials as thermal insulation, *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences* 4(2):26-36
- Jafarian M. H., Ying-udomrat T., Huang X. X., Hao Chen H. (2011) An Investigation into Rapidly Renewable Materials: Bamboo and Cotton, UBC Social Ecological Economic Development Studies (SEEDS) Student Report, University of British Columbia
- Manohar K. (2012) Renewable Building Thermal Insulation – Oil Palm Fibre. *International Journal of Engineering and Technology* 2(3):475-479
- Mihajev M. A. (1966) A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest
- Panyakaew S., Fotios S. (2008) Agricultural Waste Materials as Thermal Insulation for Dwellings in Thailand: Preliminary Results. 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October:1-6
- Pásztory Z. (2007) Hőszigetelés fejlesztési lehetőségek könnyűszerkezetes faházak számára, doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- Pinto J., Cruz D., Paiva A., Pereira S., Tavares P., Fernandes L., Varum H. (2012) Characterization of corn cob as a possible raw building material. *Construction and Building Materials* 34:28–33
- Radnóti I. (1967) Szálasanyagok és fonalak kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Rahul D. A. (2012) State-Of-The-Art Insulation Materials: A Review, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* 2(6):97-102
- Rébék-N. P. (2013) Természetes anyagok hőszigetelő-képességének vizsgálata, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Energiagazdálkodási Szakmérnök Szak, diplomamunka
- Ronyecz I., Mohácsi K., Pásztory Z. (2012) Néhány hazai fafaj kérgének hőszigetelő-képessége, *Faipar*, 60(1):16-21.
- Tangjuank S. (2011) Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves, *International Journal of Physical Sciences* 6(19):4528-4532
- Tangjuank S., Kumfu S. (2011) Particle board from Papyrus Fibres as Thermal Insulation, *Journal of Applied Sciences* 11(14):2640-2645
- Véjéliené J., Gailius A., Véjelis S., Vaitkus S., Balčiūnas G. (2011) Evaluation of structure influence on thermal conductivity of thermal insulating materials from renewable resources, *Materials Science* 17(2):208-212
- Zach J., Korjenic A., Petráněk V., Hroudová J., Bednar T. (2012) Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool, *Energy and Buildings* 49:246–53
- Zilahi M. (1953) A textilipar nyersanyagai. Tankönyvkiadó, Budapest
- Zöld A. Energiatudatos építészet, Műszaki könyvkiadó, Budapest