

DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**A FA SZEMCSÉS HALMAZOK TÖMÖRÍTÉSÉNEK
RHEOLÓGIÁJA ÉS ENERGETIKÁJA A PELLETTÁLÁSI
TARTOMÁNYBAN**

Kocsis Zoltán

Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Sopron
2014

Doktori (PhD) értekezés tézisei
Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Vezető: Prof. Dr. Tolvaj László DSc.

Doktori program: Fafeldolgozási technológiák
Programvezető: Prof. Dr. Kovács Zsolt CSc.

Tudományág:
Anyagtudomány és technológiák

Témavezető(k):
Prof. Dr. Varga Mihály CSc.
Prof. Dr. Csanády Etele CSc.

KIVONAT

A disszertáció a faalapú por-forgács halmazok nagynyomáson történő tömörödésének folyamatait mutatja be a pelletálással összefüggésben lucfenyő (*Picea abies*), tölgy (*Quercus sp.*) és akác (*Robinia pseudoacacia*) fafajokon. A nagy nyomáson előállított pellet mechanikai tulajdonságai számos tényezőtől függenek. A legfontosabb tényezők a fafaj, a szemcseméret, a nedvességtartalom, a préselési nyomás, a préselési sebesség, a deformáción tartási idő, a nyomófej átmérő és a préselési hőmérséklet. A dolgozat ezen tényezők befolyásoló hatását megvizsgálta, majd következtetéseket tett. A por-forgács halmazok nagy nyomáson történő tömörítése során bekövetkező mechanikai változások, a σ - ε viszony leírása a nem-lineáris rheológia módszerével történik, mivel a faanyag nem-lineáris viszkoelasztikus tulajdonsággal rendelkezik. Ebből adódóan a tömörítés folyamata alatt a faanyag halmaz rugalmassági modulusa nagymértékben növekszik, majd a folyamat végén a kialakult pellet maradé deformációt szenved. A maradé deformáció mértéke határozza meg a pellet tulajdonságát, elsősorban a sűrűségét. A disszertáció kiemelten fontosnak tartja az egyes befolyásoló tényezők a por-forgács halmazok tömörítési folyamataira gyakorolt hatásának teljes körű vizsgálatát, majd a kapott eredmények alapján új mechanikai modellek, elméleti összefüggések kidolgozását. Ezek alapján kidolgozásra került a relatív falsúrlódással összefüggő kitolási erő-, és a segítségével levezetett nyomástartáshoz szükséges préscsatornahossz közelítő mechanikai modellezése, illetve dimenzióanalízis módszerével megalkotásra került a préselési energiaszükséglet számítására egy olyan dimenzió nélküli kritériumegyenlet, amely univerzálisan (fafajtól függetlenül) jellemzi a faalapú por-forgács halmazok nyomás-sűrűség változását a tömörítési munka és a préshőmérséklet függvényében különböző pelletátmérek mellett adott szemcseméret tartományban. A kutatás eredményei a gyakorlat számára hasznosíthatók és nagyban hozzájárulnak a faalapú por-forgács halmazok tömörödésével összefüggő elméleti ismeretek bővítéséhez.

BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A gyakorlatban manapság egyre nagyobb arányban terjed az egyes mezőgazdasági és faipari anyagok pelletálása, amelynél a nyomás eléri vagy meghaladja az 1000 bar (100 MPa) értéket. A fapelletek esetén kiemelt követelmény a tömörödés vizsgálata, hiszen fontos, hogy a pellet állékony, tartós, megfelelő sűrűségű legyen, vagyis szállítás közben ne essen szét. Az állékonytságot a szemcsék méretének eloszlásán túl főként azok nedvességtartalma, az elért sűrűség és a préselési hőmérséklet befolyásolja. A por-forgács halmazok tömörödési vizsgálatainak, tehát nagy gyakorlati jelentősége van mind a pelletálási-, mind pedig a brikettálási technológiák területén egyaránt. A tömörítési folyamatok hatására a faanyag halmazok kisebbségi térfogatú lesz, sűrűsége növekszik. A pellet kiinduló sűrűsége elsősorban a szemcsék méretelosztásától, valamint a szemcsék anyagának szilárdságától, sűrűségétől függ. A faanyagok - mint bonyolult felépítésű biomechanikai rendszerek - viselkedése nem jellemezhető néhány fizikai állandóval, mint pl. a fémek esetében. Mechanikai tulajdonságai nem állandóak, hanem számos tényezőtől függenek. Ezek a tényezők egyrészt a fa saját tulajdonságaiban keresendők (pl. termőhely, nedvességtartalom, sűrűség, életkor, stb.), másrésztől, pedig a külső erőhatásokkal szemben kifejtett ellenállásából és viselkedéséből adódnak. Az ebből fakadó számos változó miatt a faanyagok különböző külső és belső erőhatásokkal összefüggő viselkedése ma még sok kérdést vet fel, ezért az alap kutatások jelentősége felértékelődött. A faanyagok bonyolultságának következménye, hogy a mechanikai tárgyalások során viszonylag sok feltételezést kell tenni, és a kapott eredmények csak az adott feltételek mellett érvényesek. Gyakran kell empirikus módszerekhez folyamodni, hogy az észlelt jelenségeket leírassuk. Mivel a tisztán elméleti megfontolások ritkán vezetnek használható eredményhez ezért a kísérleti vizsgálatoknak különösen fontos szerepük van. A vizsgálatok értékeléséhez nagyon fontos, hogy az anyag minden jellemzőjét (fafaj, nedvességtartalom, szemcseméret, sűrűség, terhelés, stb.), amelyek az eredményt befolyásolják, pontosan rögzítsük. A faalapú por-forgács halmazok nagy nyomáson történő tömörítési folyamatival összefüggő hazai és külföldi kutatások hiányosak. Ahhoz, hogy a pellet, - mint megújuló energiahordozó - szekvenciális felhasználását elősegítsük, szükség van egyrészt egy megfelelően kidolgozott állami támogató és ösztönző rendszerre, másrészt pedig célzott alap kutatásokra. Az alap kutatások segítségével meghatározhatjuk azokat a befolyásoló

tényezőket, melyek akár a pelletek anyagával illetve a technológiával vannak összefüggésben. Ahhoz, hogy a pellet versenyképességét növelni tudjuk az energiaszektorban, az állami támogató rendszeren túlmenően szükség van a gyártási költségek csökkentésére is. Ezek egyrészt logisztikai, másrészt pedig technológiai költségekből tevődnek össze. A dolgozat éppen ezért rheológiai, és energetikai oldalról is vizsgálta a faalapú por-forgács halmazok tömörödési folyamatait és hozzájárult az elmélet illetve a gyakorlat hasznára.

A dolgozat fő célja kettős, egyrészt az elért eredményeket az elmélet másrészt pedig a gyakorlat számára kívánja hasznosíthatóvá tenni. *Gyakorlati vonatkozásban* célja, hogy a különböző mérési paraméterek figyelembe vételével vizsgálatokat végezzen a témával kapcsolatban és találjon olyan optimális paramétereket az alapanyag tulajdonsággal, ill. a technológiai paraméterekkel összefüggésben, melyek lehetővé teszik egyrészt a pellet előállítása során felhasznált energia csökkenését másrészt a pellet minőségi, sűrűségi növekedését. *Elméleti vonatkozásban* pedig célja a faalapú por-forgács halmazok nagy nyomáson történő tömörödési folyamatait leíró mechanikai ismeretek, törvényszerűségek bővítése a pelletálási tartományban.

FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kutatás során lucfenyő (*Picea abies*), tölgy (*Quercus sp.*) és akác (*Robinia pseudoacacia*) légszáraz (10-12%) faforgács lett felhasználva. Fontos volt a pelletálásra kerülő frakcióméretetek ismerete, mivel a szemcseméret befolyásolja a pellet sűrűségét. A meglévő faalapú por-forgács minták a NOVA PELLETT N-MICRO B típusú kísérleti pelletáló utánaprítójával aprítva lettek, majd az utánaprítást követően CISA BA 200N elektromágneses szitázó készülékkel frakcionálásra kerültek. A gyakorlatban a pellet 0,5-1,5mm közötti utánaprítási frakcióból készül, ezért az összeállított szitasorozat a következő volt: 2,5mm, 1mm, 0,8mm, 0,5mm, 0,2mm, 0,063mm. A szitálás végeztével vissza lett mérve az egyes frakcióknál lévő maradványértékek tömege KERN PCB 3500-2 típusú digitális mérleg segítségével. A frakcióanalízissel kapott eredmények alapján megállapításra került, hogy az utánaprításra jellemző frakcióméret 95-98%-ban a 0,2-1,5mm közötti-, és ezen belül is 90%-ban a 0,2-1mm közötti szemcseméret tartományban van. Jelentős a szerepe továbbá a 0,2-0,5mm közötti frakciónak. A frakciók nedvességtartalma

BOECO SMO 01 típusú automatikus nedvességmérővel lett meghatározva. A tömörítési vizsgálatok egyedi tervezésű és kivitelezésű nyomófejekkel lettek elvégezve 6 mm, 8 mm, és 16 mm-es átmérővel. A hőmérséklettel összefüggő mérések ugyancsak egyedi tervezésű és kivitelezésű hőmérsékletszabályozó és mérőrendszerrel lettek végrehajtva.

A kutatás során az alábbi mérési paraméterek kerültek alkalmazásra:

- terhelési (deformáció) sebesség [v_{def} ; mm/min]: 2 mm/min; 10 mm/min; 60 mm/min
- kitolási sebesség [$v_{kit.}$]: 8 mm/sec
- préselési nyomás [p ; bar]: 500-1400 bar (50-140 MPa) és 500 bar alatt
- nyomófej átmérő [D ; mm]: 6 mm; 8 mm; 16 mm
- nedvességtartalom [u ; %]: 10-15%; 15-20%; 20-25%
- deformáción tartási idő [t ; min]: 1 perctől 10 percig, egy perces leolvasási időközökkel
- préselési hőmérséklet [ϑ ; °C]: 25°C; 80°C; 100°C; 150°C; 200°C

EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A dolgozat a kitűzött célokat elérte és bemutatta azokat a főbb kutatási eredményeket, melyek segítségével pontosabb képet kaphattunk a faalapú por-forgács halmazok nagy nyomáson történő tömörödési folyamatiról. Meghatározásra kerültek azok a főbb befolyásoló tényezők (fafaj, pellet átmérő, préselési sebesség, présnyomás, szemcseméret, nedvességtartalom, deformáción tartási idő, préselési hőmérséklet), melyek nagyban befolyásolják a pellet sűrűségét. A különböző szemcseátmérőjű és szemcsekeménységű halmazok kompresszió görbéi rámutattak a külső és belső pórusok szerepére a tömörítés során, vagyis a szemcsekeménység növekedése először a külső pórusok csökkenését teszi lehetővé és csak adott nyomásnál (~250 bar) lép be a szemcse belső pórusainak csökkenése. A szemcseméret csökkenésével a pellet sűrűség csökkent, a relatív maradó deformáció pedig nőtt. Minél kisebb a szemcse szilárdsága (fenyő) annál jobban összetömöríthető a faanyag-halmaz adott nyomáson, de ugyanakkor a tömörítési folyamat végén kisebb maradó deformáció jellemezte a faanyag-halmazt, ezért a pellet sűrűségek is kisebbre adódtak a nagyobb szilárdságú fafajból

(akác) készült pelletekhez képest. Megfigyelésre került, hogy az alacsony nyomástartományban (500 bar alatt) a por-forgács halmazok terhelés hatására bekövetkező mechanikai viselkedése ellentétes a magasabb nyomástartományban kapott tendenciákhoz képest, vagyis a faalapú por-forgács halmazok tömörödésének mechanikájában anomáliák figyelhetők meg a préselési nyomás csökkenése hatására, melyek magyarázata a szemcsék különböző keménységével és a külső és belső pórusok arányaival, az ún. póruselmélettel lett megadva. A terhelési (tömörítési) sebesség is befolyásolja a pellet sűrűséget. Ha túl gyors (60 mm/min) a sebesség, akkor kisebbre adódtak a pellet sűrűségi értékek a lassúbb (2 mm/min) tömörítési sebességhez képest. Ennek oka, hogy túl gyors sebesség esetén a faanyag halmazban lévő deformációs folyamatok nem tudnak kellő képen lezajlani, vagyis a deformáció változás nem tudja követni a sebességváltozást a faanyag viszkoelasztikus tulajdonsága miatt. Alacsonyabb sebességnél a faanyag halmaznak több ideje van a deformációra, kúszásra. Megállapításra került, hogy a vizsgált frakcióintervallumban (0,063-1mm) a szemcseméret változása nem befolyásolta jelentősen a pellet sűrűségi értékeket, így az eltérések átlagosan a leggyakoribb frakcióméret (0,2-0,5mm) körül mindhárom fafaj esetében a $\pm 5\%$ -os szórási sávon belül maradtak. A keményebb és nagyobb szilárdságú szemcse (akác) jobban ellenállt a nyomásnak, ezért a tömörítés végén kisebb fajlagos alakváltozást (ε) szenvedett. A kisebb fajlagos alakváltozás miatt csökkent a faanyag halmazba bevitt deformációs feszültség nagysága, aminek következtében kisebb lett a pellet relatív visszarugózása a fenyőhöz képest. Minél kisebb a szemcseméret, annál kisebb mértékben rugózott vissza a pellet, tehát annál nagyobb lett a maradó deformáció. A gyakorlatban az elvárt minőségi követelményeknek megfelelő $\sim 1100 \text{ kg/m}^3$ sűrűségű pelletet a kutatások alapján minimum $\varepsilon_m = 0,8$ -as relatív maradó deformáció mellett érhető el, amihez tömörítéskor $\varepsilon = 0,8-0,85$ fajlagos alakváltozás szükséges. Azonos sűrűségi értéket a fenyő nagyobb nyomással érte el, mint az akác. Ezzel igazolódott a gyakorlatban alkalmazott eltérő matricaszélességek létjogosultsága.

Az alapanyag nedvességtartalmának növekedésével a faanyag plasztikus és deformációs képessége növekedett, vagyis adott pellet sűrűség kisebb nyomással érhető el egy meghatározott alapanyag nedvességi határértékig. Nyomás hatására egyrészt a szemcsék felülete deformálódik (érintkező felület változik) másrészt a farészekből nedvesség távozik, melyek csökkentik a cső fala és a halmaz közti súrlódási tényező értékét.

A nedvességtartalom növekedésével $12\% < u < 20\%$ közötti nedvességtartományban a pellet mechanikai tartóssága (növekvő nedvességtartalom mellett a fűtőértéke is) gyengült, de a sűrűsége átlagosan 7%-kal nőtt. A 20%-os alapanyag nedvességtartalom felett a vizsgált frakcióintervallumban (0,2-1mm) a pellet sűrűségi értékek csökkentek és sok esetben a pellet szétesett. Az alapanyagot a gyakorlatban, tehát mindenképpen 20%-os nedvességtartalom alá kell szárítani. A faanyag, mint komplex makromolekulás rendszer, hő hatására rendkívül bonyolult, összetett kémiai és fizikai-kémiai változásokon megy keresztül. A hőmérséklet növekedésével a pellet sűrűségi értékek növekedtek a faanyagalmaz kedvező thermoplasztikus és deformációs képessége-, és a vele összefüggő por-forgács halmazok pórusrendszerében bekövetkező mechanikai változások miatt. A hőmérséklet növekedésével a pellet sűrűségi értékek növekedtek, a relatív kirugózás csökkent a relatív maradó deformáció pedig nőtt. Fenyő és akác pelletek sűrűség-növekedése a 80°C - 200°C -os hőmérsékleti tartományban 15%-ra adódott a vizsgálati szemcseméret tartományon belül (0,2-1mm). A gyakorlatban a pelletálás 80 - 90°C hőmérsékleten megy végbe. Ilyen hőmérsékletnél 900 - 1000 bar préselési nyomás is elegendő a követelményeknek megfelelő pellet (1100 kg/m^3) előállításához. 200°C -os préselési hőmérsékleten ugyan ez a pellet sűrűség már 700 - 800 bar préselési nyomás mellett is előállítható, vagyis közel 20-30%-os préselési energiafelhasználás csökkenést érhetünk el ilyen hőmérsékleten. A 200°C -on készített pellet mechanikailag tartósabb, kisebb végnedvességű és nagyobb sűrűségű lett, azaz energiasűrűsége megnövekedett a hagyományos gyártástechnológiával készített pellethez képest (részleges torrifikáció). Az így elkészített pellet felületén kialakult elszenesedett réteg irodalmak alapján hidrofób tulajdonsággal ruházta fel. Mivel a 200°C hőmérsékletre való matricafelfűtés jelentős energia befektetéssel jár, ezért a gazdasági döntéseknél mindenképpen figyelembe kell venni.

A por-forgács halmazok relaxációs és kúszási vizsgálatait során meghatározásra kerültek a legfontosabb befolyásoló tényezők, melyek jelentős kihatással vannak a relaxációs és kúszási folyamatokra, ilyenek: a fafaj, a szemcseméret, a préselési nyomás, a kezdeti sűrűség és a hőmérséklet. A relaxáció és a kúszás összefügg a faanyagalmaz tömör sűrűségével (tömörödés mértékével), és a tömörítéskor bevitt deformációs feszültség nagyságával, ezért minél nagyobb a tömörödés

mértéke és vele együtt a deformációs feszültség, annál kisebb mértékben relaxál és kúszik a faanyagalmaz.

A relatív falsúrlódás is jelentősen befolyásolta a pellet sűrűséget. A tömörítő csatorna átmérőjének növelésével a pellet sűrűség növekedett, vagyis az átmérő növekedésével arányosan csökkent a relatív falsúrlódás hatása és ezáltal a nyomás gradiense is a pellet hossza mentén (6 mm-es átmérőnél 7 szerez falhatás jött létre a 16 mm-es átmérőhöz képest). Azonos nyomófej átmérő esetén a $\sim 1100 \text{ kg/m}^3$ pellet sűrűség eléréséhez fenyőnél ~ 30 százalékkal nagyobb nyomás szükséges az akáchoz képest. Nagyobb nyomófej átmérőnél (16 mm) 25-30 százalékkal kisebb nyomás és durvább frakció (1-2,5 mm) is elegendő a kisebb nyomófejhez (6 mm) képest a kívánt pellet sűrűség elérése érdekében. A relatív falsúrlódással összefüggő kutatások során bevezetésre került az ún. relatív felületcsökkentési tényező ($\psi_{\text{vég}}$), melynek segítségével, valamint mérésekkel és bizonyos elméleti megfontolások alapján közelítőleg meghatározásra került a kitolási erő változása a pellet hossz függvényében. A kitolási erő közelítő elméleti összefüggését felhasználva, valamint a kitolási erő értékek ismeretében meghatározásra került továbbá a nyomástartáshoz szükséges préscsatornahossz is, mely megtartja a tömörítési nyomást a különböző pelletátmérok mellett. A kapott egyenlet dimenzió nélküli (általános érvényű) alakban is megadásra került.

A dolgozat a por-forgács halmazok rheológiáján túlmenően energetikai oldalról is végzett kutatásokat, melyek eredményei alapján 6 mm-es nyomófej átmérőnél egy $1000\text{-}1100 \text{ kg/m}^3$ pellet sűrűség eléréséhez, mintegy 180-198 MJ (50-55 kWh) összmunka (tömörítési és súrlódási) szükséges 1 m^3 (tömör m^3) pellet előállítására vonatkozóan. Az energiafelhasználással összefüggő további kutatások során a dimenzióanalízis módszerének alkalmazásával kidolgozásra került egy olyan dimenzió nélküli kritériumegyenlet a pelletálási energiaszükséglet számítására, mely univerzálisan (fafajtól függetlenül) jellemzi a faanyagok nyomás-sűrűség változását a tömörítési munka és a préshőmérséklet függvényében különböző pelletátmérok mellett. Megállapításra került, hogy az utánapritás során figyelembe vett leggyakoribb frakciónál (0,2-1mm) 1400 bar nyomáson történő tömörítés hatására a kapott fajlagos munkaváltozást jellemző görbék lapos lefutásúak (így azok kitevő értéke $-0,05$ körülire tehető), vagyis nem változik szignifikánsan a fajlagos munkaérték a szemcseméret függvényében. Az elméleti megfontolások alapján létrehozott kritérium

egyenlet hitelessége és alkalmazhatósága a mérési eredményekkel igazolásra kerültek. A kapott eredmények mind az elmélet mind pedig a gyakorlat számára hasznosíthatók a mérnöki pontosság határain belül.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

A részletes elméleti és kísérleti vizsgálatok alapján az alábbi tudományos megállapításokat tettem:

1. Meghatároztam a tömörítés törvényszerűségeiben mutatkozó különbségeket különböző szemcsekeménységű por-forgács halmazokra beleértve a tömörítési végsűrűséget (pellet sűrűséget), a kirugózást, a maradó deformációt, az energiafelvételt és annak komponenseit, a szemcseméret, a tömörítési nyomás, a tömörítési sebesség, a nedvességtartalom, a deformáción tartási idő, a hőmérséklet és a pelletátmérő függvényében. Az eltérések elméleti magyarázatát is megadtam.
2. A pellet állékonyságának (sűrűségi követelményeinek) figyelembe vételével megadtam a minimális nyomást és energiaszükségletet a fajaj, a szemcseméret, a pelletátmérő és a hőmérséklet függvényében.
3. A relatív falsúrlódással kapcsolatos kutatásaimban a pellet kitolás utáni átmérő növekedéséből, valamint a maximális kitolási erő értékek ismeretében bizonyos elméleti megfontolások alapján megadtam a kitolási erő közelítő mechanikai számítási modelljét, mely segítségével meghatározhatóvá vált a tömörítés során létrejött deformáció modulus rugalmas komponense, amely a falsúrlódást okozza a pellet kitolásakor. Az adatokat általánosítottam (dimenzió nélküli alakban is), amelyekből egy adott pelletátmérőhöz tartozó kritikus csatornahossz is meghatározható, amely az ellenhatást biztosítja tetszőleges végnyomás és pelletátmérő esetén.
4. Dimenzióanalízis alkalmazásával hasonlósági egyenletet nyertem az energiaszükséglet számítására tetszőleges bemenő paraméterek mellett, a fajajtól függetlenül.

A DOLGOZAT TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű lektorált tudományos folyóiratban megjelent szakcikkek

1. KOCSIS, Z.; CSANÁDY, E. (2014): *Study of the energy requirements of wood chip compaction. DRVNA INDUSTRIJA 65*:. Lektorált idegen nyelvű tudományos folyóirat, ISSN 0012-6772, impakt faktor: 0.146 (Megjelenés alatt!)

Idegen nyelvű konferencia kiadványban megjelent szakcikkek, előadások

1. KOCSIS, Z.; CSANÁDY, E. (2014): Mechanics of chip compaction. The 9th International Science Conference. Chip and Chipless Woodworking Processes. Proceedings of Papers. Technical University in Zvolen, September 11-13, 2014. pp. 83-89. ISBN: 978-80-228-2658-7 angol nyelvű előadás és konferencia kiadvány.
2. KOCSIS, Z.; VARGA M. (2013): Application of a Non-linear Rheological Method for the Compaction of Wood-based Materials. 21st International Wood Machining Seminar (IWMS-21) Tsukuba, Japan, 2013.08.04-2013.08.07. Wood Research Society, pp. 315-322. ISBN: 978-4-9903467-9-9
3. VARGA, M.; KOCSIS, Z.; NÉMETH, G.; BAKKI-NAGY IMRE, S. (2012): The rationalization possibility of energy consumption in Hungarian wood factories. Tagungsband des 15. Holzetchnologischen Kolloquiums Dresden, pp. 217-228. ISBN: 978-3-86780-266-6
4. NÉMETH, G.; KOCSIS, Z.; VARGA, M. (2012): Energy Balanace of Pelleting of Wood Based By-product. TRIESKOVÉ A BEZTRIESKOVÉ OBRÁBANIE DREVA. Technical University Zvolen, pp. 247-253. ISBN: 978-80-228-2385-2
5. VARGA, M.; NÉMETH, G.; KOCSIS, Z.; BAKKI-NAGY IMRE, S. (2011): Energy Consumption Structure of the Hungarian Wood Industry. 20th International Wood Machining Seminar. Skeleftea, pp. 267-274. ISBN: 978-91-7439-264-7

6. NÉMETH, G.; KOCSIS, Z.; VARGA, M. (2012): Energy Demand of Briquetting and Pelleting of Wood Based By-product. The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment. International Scientific Conference on Sustainable Development and Ecological Footprint. Nemzeti Tankönyvkiadó, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, pp. 393-400. ISBN: 978-963-19-7352-5

Magyar nyelvű lektorált folyóiratban megjelent szakkikkek

1. KOCSIS, Z.; CSANÁDY, E. (2014): A nem-lineáris rheológia alkalmazása a faalapú anyagok pelletálásával, tömörítésével összefüggésben. II. kísérleti rész. FAIPAR - A faipar tudományos folyóirata, [S.l.], v. 62, n. 2, oct. 2014. ISSN 2064-9231. Elérhető: <<http://www.woodscience.hu/Woodscience/article/view/12>>.doi:http://dx.doi.org/10.14602/WoodScience-HUN_2014_12. pp.8-17.
2. KOCSIS, Z.; CSANÁDY, E. (2014): A nem-lineáris rheológia alkalmazása a faalapú anyagok pelletálásával, tömörítésével összefüggésben I. kísérleti rész. FAIPAR - A faipar tudományos folyóirata, [S.l.], v. 62, may. 2014. ISSN 2064-9231. Elérhető: <<http://www.woodscience.hu/Woodscience/article/view/1/4>>.doi:http://dx.doi.org/10.14602/WoodScience-HUN_2014_1. pp.1-8.
3. KOCSIS, Z.; BORSOS, G. (2013): Biomassza alapú kapcsolt energia előállításának lehetőségei faipari üzemeknél. FAIPAR, 61:(1) pp. 20-28. HU-ISSN: 0014-6897
4. VARGA, M.; NÉMETH, G.; KOCSIS, Z.; BAKKI-NAGY IMRE, S. (2010): A magyar fafeldolgozás energiaszerkezetének vizsgálata és energiafelhasználási összefüggései. FAIPAR, 58: (3-4) pp. 12-18. HU-ISSN: 0014-6897

Magyar nyelvű könyvrészlet

1. VARGA, M.; KOCSIS, Z.; NÉMETH, G. (2011): A fatermékek gyártási energiaszükséglete. Örök társunk a fa. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 35-37. ISBN: 978-963-334-009-7

Magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent szakkikkek

1. KOCSIS, Z.; VARGA, M.; NÉMETH, G. (2013): A dendromassza alapú pelletálás energiaszükségletének csökkentésére irányuló kutatások. Dendromassza alapú energiaforrások című konferencia kiadvány, Sopron, pp. 25-29. ISBN: 978-963-359-021-8
2. KOCSIS, Z.; BORSOS, G. (2012): Biomassza alapú kapcsolt energia előállításának lehetőségei faipari üzemeknél. Hallgatói tudományos konferencia. Tanulmánykötet a "Talentum program" hallgatói kutatásainak eredményeiről, előadásanyagairól. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 36-42. ISBN: 978-963-9883-96-3

A KUTATÁS TÉMÁJÁVAL ÖSSZEFÜGGŐ PUBLIKÁCIÓKRA TÖRTÉNŐ FÜGGETLEN HIVATKOZÁSOK

1. RICHTER, Z.; VITYI, A.; MAGOSS, E. (2014): *Közönséges nád (Phragmites australis) pelletálási technológiájának vizsgálata – I. rész, FAIPAR 62. évf. (2014), ISSN: 0014-6897 (Megjelenés alatt!)*
2. NÉMETH, G. (2014): Kis teljesítményű faalapú pellet tüzelő berendezés környezeti hatásainak vizsgálata I. FAIPAR - A faipar tudományos folyóirata, [S.l.], v. 62, n. 2, oct. 2014. ISSN 2064-9231. Elérhető: <<http://www.woodscience.hu/Woodscience/article/view/14>> .doi:http://dx.doi.org/10.14602/WoodScience-HUN_2014_14.
3. NOVÁK, D. (2014): A faalapú por-forgács halmazok tömörödési folyamatának vizsgálata különös tekintettel a pelletgyártásra c. szakdolgozat. Sopron, 2014.

4. CSITÁRI, CS.; NÉMETH, G. (2013): Parabolikus napkollektor alkalmazhatóságának lehetőségei technológiai hő előállítására a faiparban, FAIPAR 61. évf. 2013/ 1. szám, pp. 10-15. HU-ISSN: 0014-6897
5. VARGA, M.; NÉMETH, G.; CSITÁRI, CS.; KOVÁCS, P. (2013): Potential applicability of the parabolic solar collector technology to produce heat in the wood industry; The 21st International Wood Machining Seminar (IWMS-21), to be held August 4-7, 2013 in Tsukuba, Japan. pp. 140-146; ISBN 978-4-9903467-9-9
6. CSITÁRI, CS.; NÉMETH, G. (2012): „Parabolikus napkollektor alkalmazhatóságának lehetőségei technológiai hő előállítására a faiparban” Hallgatói tudományos konferencia. Tanulmánykötet a "Talentum program" hallgatói kutatásainak eredményeiről, előadásanyagairól. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 31-35. ISBN: 978-963-9883-96-3

EGYÉB PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉG

Megtekinthető az MTMT adatbázisban az alábbi linken:

<https://vm.mtmt.hu//search/slist.php?lang=0&AuthorID=10023240>