

FAIPAR 62. évf. (2014)
2. SZÁM

DOI: 10.14602/WoodScience-HUN_2014_12

Vietnam erdőgazdálkodása

MOLNÁR András¹, MOHÁCSI Kristóf¹, PÁSZTORY Zoltán¹

¹NymE SKK Innovációs Központ

Kivonat

Vietnam jelentős erdőterülettel – benne primer erdőkkel is – rendelkező ország. A huszadik században az ország erdei nagy változásokon mentek át, mind összetételüket, mind mennyiségi részarányukat tekintve. Az 1940-es évektől a területi mélypontot jelentő 90-es évekig jelentős erdőterületeket veszített, és a megmaradt erdők is károkat szenvedtek. 1990-től napjainkig az erdőterület számottevő növekedésen ment át. A múlt század végétől kezdve komoly erőfeszítéseket tesznek az erdőterület növelésére és az erdők fenntarthatóságának javítására.

Ugyanebben az időszakban a ffeldolgozás és a bútortipar is hatalmas fejlődésen ment át, döntően import alapanyagra építve. Mára mindkét ágazat impozáns eredményeket ért el, ugyanakkor számos veszéllyel és problémával szembesülnek.

Kulcsszavak: Vietnam, erdőgazdaság, fakitermelés, mangrove erdő, bambusz ültetvények

Vietnam's silviculture

Abstract

Vietnam is a country that has considerable forest area with primary forests. In the 20th century, the forests of the country changed both in terms of their composition and quantitative proportion. From the 1940's to the 90's, large woodlands were lost, and the remaining forests also suffered damages. From the 1990's, the forest area has been growing considerably. Since the end of the last century, serious efforts have been made to increase the area of forests and to improve their sustainability. The wood processing and furniture industries went through huge development in the same period, built on mainly import stock. Both sectors achieved impressive results, but they are confronted by several hazards and problems at the same time.

Keywords: Vietnam, forestry, logging, mangrove forest, bamboo plantations

Bevezetés

„A tenger ezüst, az erdő arany” – tartja egy vietnami közmondás. A mondás igaznak bizonyul, ha tudjuk, hogy az országnak több mint 3200 km hosszú tengerpartja van, és egész területének közel 40%-a erdővel borított (Huy, 1968, w1). Igaz, hogy az erdősültség nagy szélsőségeket érintett az elmúlt évszázad során.

A vietnami gazdaságban a szocializmus és a kapitalizmus különleges keverékét láthatjuk, amely a gazdasági élet minden területére kihat. A 1970-es évek közepétől Vietnam a szovjet rendszer követőjeként a „szabad világgazdaság” országaitól nagymértékben elszigetelődött. Az elszigeteltség időszakában a teljes állami kontroll alatt működő vietnami gazdaság rengeteg problémával szembesült: túlkapacitások a nehéziparban, az állami ipar fenntarthatatlan támogatása, a mezőgazdaság nem hatékony működése és a nagymértékű függés a Szovjetuniótól és a nemzetközi támogatásoktól. Ezen problémák olyan súlyossá váltak, hogy a nyolcvanas években – a rizstermelésben nagy hagyományokkal és kiváló adottságokkal rendelkező országban – éhínségek voltak.

A gazdasági problémák vezethettek az erdősültség drasztikus csökkenéséhez is. Az évtized második felére emiatt a pártban és a kormányban is súlyos feszültségek keletkeztek, melynek hatására megerősödött a liberális frakció és a szocialista kormány piacgazdasági jellegű reformokba kezdett a szocialista kereteken belül. Ennek eredménye az 1986-ban elfogadott „Doi Moi” reformprogram, amelynek lényege a magángazdaság engedélyezése volt. A Doi Moi sikeres volt, a siker leglátványosabb példája a rizstermelés megugrása, ahol az ország

néhány éven belül a világ második legnagyobb rizsexportőrévé vált és ezt a pozícióját azóta is őrzi, továbbá a szabályozásoknak köszönhetően az erdőszültség is folyamatosan növekszik. A reformok folytatásaként az ország több nemzetközi szervezet tagjává vált és 2007-ben a WTO-nak (World Trade Organization) is tagja lett.

Erdőgazdálkodás

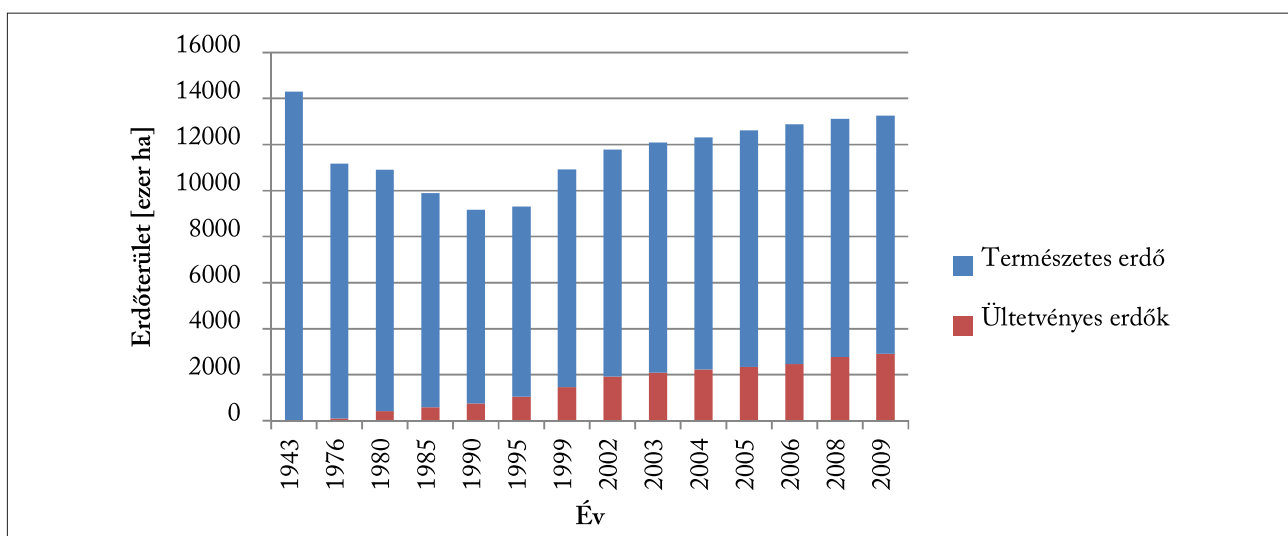
Több tanulmány megállapítása szerint 1943-ban Vietnamnak 14,3 millió hektár természetes erdeje volt, ami 43%-os erdőszültségnek felelt meg (Vietnam Forestry Outlook Study, Viet Nam Forestry Development Strategy, w2, w3). 1990-ig az erdőterület jelentősen csökkent, 9,18 millió hektárra, ami az ország területének 27,2%-a. Becslések szerint kb. 25 millió ember él az erdőkben és környékükön, akik az erdőre számítanak élelmiszer, megélhetés, gyógynövények és egy sor ökoszisztéma szempontjából. A korábban a természetes erdők kitermeléséből élő vidéki lakosság részben elvesztette egzisztenciáját, gyakori jelenség az illegális kitermelés, a faanyag értékesítése és az erdőterület mezőgazdasági területként való hasznosítása céljából. Számos szocio-ökonomiai ok és a nem fenntartható erdőkezelés és használat miatt a vietnami erdők minősége és mennyisége is romlott évtizedeken keresztül. 1980 és 1990 között Vietnam évente átlagosan 100 ezer ha erdőterületet veszített. 1995-től az erdőterület folyamatosan növekszik az ültetvényerdők létesítésének és a természetes erdők rehabilitációjának köszönhetően. 2009 végéig az összes erdőterület 39,1% erdőszültséget jelentő 13,3 millió hektárra nőtt, amelyből 10,41 millió ha természetes erdő és 2,92 millió ha ültetvényerdő.

Az erdők nem egyenletesen oszlanak el az ország területén (1. táblázat). A közép fennsíkon, észak-közép és

1. táblázat Erdőterület és erdőszültség régiók szerint 2006-ban (forrás: Vietnam Forestry Outlook Study)

Table 1 Woodland area and forest cover in different regions in 2006 (source: Vietnam Forestry Outlook Study)

Régió	Erdőterület ezer ha	Természetes erdő ezer ha	Ültetvényerdő ezer ha	Erdőszültség %
Északnyugat	1 508	1 399	109	40,3
Északkelet	3 164	2 271	893	47,9
Vörös folyó delta	96	47	49	7,6
Észak-közép	2 611	2 077	534	50,7
Közép partvidék	1 776	1 445	331	40,6
Közép fennsík	2 977	2 825	152	54,6
Délkelet	431	286	145	18,2
Délnyugat	309	60	249	7,7
Összesen	12 874	10 410	2 464	38,0



1. ábra Az erdőterület változása 1943 és 2009 között Vietnamban (forrás: Forest Science Institute of Vietnam (FSIV), Vietnami Statisztikai Hivatal)

Figure 1 Changes in the woodland area between 1943 and 2009 in Vietnam (Source: Forest Science Institute of Vietnam (FSIV), Statistical Office Vietnam)

északkeleti területen az erdősültség magas, 40% feletti. A 18. szélességi foktól délre trópusi, míg északra szubtrópusi erdők tenyésznek. A tengerpart mentén síkvidéki erdők találhatók (Huy, 1968).

A délkeleti régióban nagy terület szolgál mezőgazdasági ültetvények céljára (pl. tea, kávé, gumifa, bors, stb.) Itt az erdősültség 20% alatti. A Vörös folyó és a Mekong deltavidékein a mezőgazdaság dominál, az erdősültség alacsony 10% alatti.

A 2006. évi adatok alapján az erdő fő funkciója szerint különleges célú erdő 2 202,9 ezer hektár, védelmi célú erdő 5 268 ezer hektár, termelési célú erdő 5 402 ezer hektár. A valódi fa erdők alkotják a jelenlegi természetes erdők legnagyobb részét, 8 192 ezer hektárral, amit a kevert erdők (729 ezer hektár), illetve bambusz erdők (696 ezer hektár) követnek (2. ábra). A hegyvidéki erdők 729 ezer hektárt, a mangrove erdők 64 ezer hektárt tesznek ki.

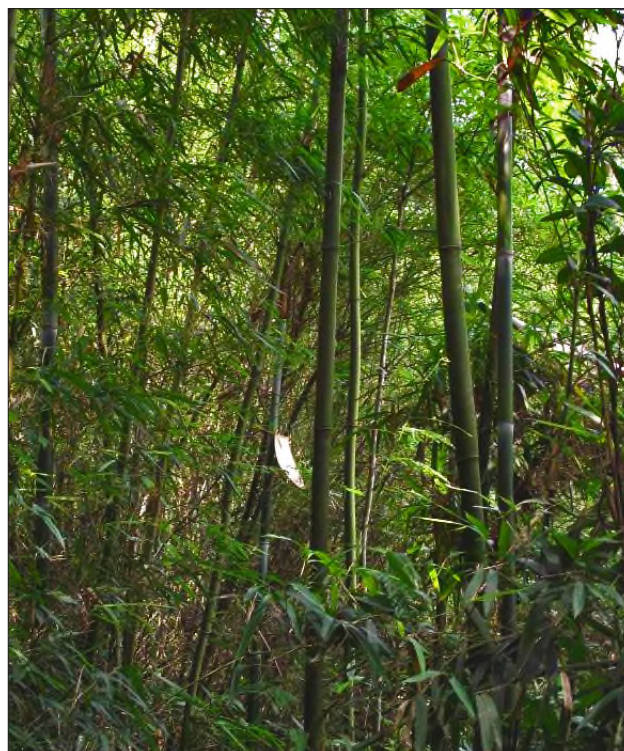
Az erdők minősége is romlott az elmúlt évtizedekben. A természetes erdők átlagos fakészlete 76,5 m³/hektár, emellett az átlagos minőségű erdők aránya folyamatosan csökken. A gyenge erdők és másodlagos erdők területe gyorsan nőtt az 1990-es 7 millióról 10,2 millióra 2005-ben, amik így a vietnami erdők több mint 80%-át teszik ki.

Az összes élőfa-készlet 2005-ben 811,678 millió m³, aminek 93,4%-át a természetes erdők adják, a fennmaradó 6,6%-át pedig az ültetvényerdők (3. ábra). Az intenzív módszerekkel művelt ültetvényerdők átlagos élőfa-készlete 40,6 m³/ha.

Erdőtulajdon

Vietnamban az erdőket hosszú ideig állami tulajdonú vállalatok kezelték és használták. Ezekhez az egységekhez állami erdőgazdálkodók, a különleges célú erdők igazgatósága és szövetkezetek tartoztak. Az utóbbi években az erdők tulajdonjoga részben háztartások, magánszemélyek, faluközösségek és a magánszektor kezébe került.

Vietnamban két törvény szabályozza az erdő tulajdonjogát és használatát. A földtörvény alá tartoznak a föld tulajdonjogával kapcsolatos ügyek, az erdővédelmi és fejlesztési törvény (1999, 2004) hatáskörébe pedig az erdővel kapcsolatos ügyek. Az 1993-as, illetve 2003-as földtörvény kimondja, hogy a föld közösségi tulajdon, és az állam a tulajdonos képviselője. Az állam átadja a használati jogokat különböző társadalmi csoportoknak, kiutalás és bérleti jogviszonyokon keresztül, akik a földet hosszú távon hasznosítják. Az állam hasonlóképpen kiutalás és bérleti jogviszonyon át adja ki az erdő használati jogát, illetve az ültetvényerdők telepítési jogát.



2. ábra Tiszta bambusz ültetvény Északnyugat-Vietnamban
Figure 2 Pure bamboo plantation in north-west Vietnam



3. ábra Természetes erdő (balról) és ültetvényes Acacia erdő (jobbról)
Figure 3 Natural forest (left) and planted Acacia forest (right)

Az állam egyformán kezeli és rendelkezik a természetes erdőkről és az állami tőkével létesített erdőkről, beleértve az ültetvényerdőket, amelyek tulajdonjoga az államra szállt.

Tehát a föld és az erdő mindig közösségi tulajdonúak, de a magánszemélyek és szervezetek megkaphatják a hosszú távú kezelési és használati jogokat, általában 50 évre, ami azonban meghosszabbítható.

Gyakorlatilag háromféle használati forma létezik az erdészet területén:

- Állami használatú: minden erdő és erdőterület, amelyet állami gazdasági egységek használatába utaltak, mint állami gazdasági társaságok, védelmi erdők kezelési igazgatóságai, termelési célú erdők kezelési igazgatóságai, honvédelem, oktatási, fejlesztési intézmények. Ide tartoznak még az ideiglenesen ki nem utalt erdőterületek is.
- Magánhasználatú: az erdők, amelyeket magánszemélyek és társaságok kezelnek, mint: egyének, háztartások, magánvállalkozások, vegyesvállalatok.
- Egyéb közösségi használatú: az erdők, amelyeket helyi önkormányzatok kezelésébe adott az állam.

Az erdők tulajdonviszonyait mutatja be a 2. táblázat, erdőtípusok szerint.

2. táblázat Erdők tulajdonviszonyai erdőtípusok szerint 2005-ben (forrás: FSIV)

Table 2 The ownership of forests according to forest types in 2005 (source: FSIV)

	Erdőtípus [ezer ha]					
	Természetes		Ültetvény		Összesen	
Állami	7 649	74,4%	1 223	52,4%	8 872	70,3%
Magán	1 910	18,6%	944	40,5%	2 854	22,6%
Közösségi	501	4,9%	58	2,5%	559	4,4%
N. a.	222	2,2%	107	4,6%	329	2,6%
Összesen	10 282	100,0%	2 332	100,0%	12 614	100,0%

Az állami erdészeti politika a magán és egyéb közösségi birtoklású erdők körének kiszélesedése felé irányul. Elsődlegesen az ültetvényerdők létesítésére és kezelésére ösztönzik a háztartásokat, magáncégeket, vegyes vállalkozásokat, valamint a helyi közösségeket.

A termelési célú erdők arányának változása

1960 előtt a természetes erdő volt az erdészeti termékek termelésének domináns forrása. 1962-ben alapították az ország első nemzeti parkját, a 22 ezer hektáros Cuc Phuong Nemzeti Parkot, ami áttörést jelentett a különleges célú erdészeti rendszerek létrehozásában. Ezután a vízgyűjtő területek védelme, erózió prevenció és folyótorkolatok védelme céljára védelmi erdőrendszereket hoztak létre. A nemzeti park nagy részét síkvidéki, trópusi esőerdő borítja (Cuong et al, 2011; Nagy, 2010).

Mindazonáltal nagy területű termelési célú erdőket használtak erdészeti termékek előállítására. A 90-es évekre az erdőállomány romlása és az erdőterület csökkenése súlyossá vált, és 1997-ben a kormány korlátozta a kitermelést a természetes erdőkből. A 90-es évek elején az összes éves fakitermelés volumene 4-4,5 millió m³ volt a természetes és ültetvényerdőkben összesen. A korlátozás után a természetes erdőkből való kitermelés 150-300 ezer m³/év, amit az ültetvényerdőkből származó, évről évre növekvő mennyiségű, napjainkban már 3 millió m³-t meghaladó kitermelés egészít ki. A természetes erdők kitermelésének korlátozása szükséges volt az állománycsökkenés és romlás megakadályozására, de a természetes erdők rehabilitációja után, a fenntartható erdőművelés megerősítésével a kitermelés szükségszerű feladata lesz a vietnami erdészetnek. Ez részben a fafeldolgozó ipar alapanyagigénye, részben a vidéki lakosság foglalkoztatása, életkörülményeinek javítása szempontjából fontos.

3. táblázat Termelési célú erdők területének növekedése (forrás: Vietnam Forestry Outlook Study)

Table 3 Increase in the area of forests intended for timber production (source: Vietnam Forestry Outlook Study)

Erdőtípus	Terület [ezer ha]		
	1999	2005	2006
Természetes erdő	3	3	3 723
Fás erdő	2	2	2 937
Bambusz, rattan erdő	321	358	408
Kevert erdő	257	251	323
Mangrove erdő	8	11	10
Mésző erdő	0,1	17	42
Ültetvényerdő	872	1 382	1 679
Összesen	1 463,1	2 024	9 122

A természetes erdők kitermelés-korlátozása elősegítette a termelési célú ültetvényerdők területének növekedését, valamint ösztönözte az egyre növekvő fa importot (Molnár és Pásztory 2013). A termelési célú erdőterület változását mutatja be a 3. táblázat.

A vietnami erdőgazdálkodás 1995 óta igen sikeres az erdőterület növelésében, ültetvényerdők létesítésében, illetve a természetes erdők megőrzésében és rehabilitációjában. Az elmúlt tíz évben az állam különös figyelemmel volt a fenntartható erdőgazdálkodásra. Több jogi szabályozást vezettek be, amelyek meghatározzák a fenntartható erdőgazdálkodás kereteit, mint például: erdővédelmi és fejlesztési törvény (2004), környezetvédelmi törvény (2004), földtörvény, stb. Az állam konkrét programokat is indított, mint az 5 millió hektáros erdőtelepítési program és a kitermelést korlátozó szabályozás. Jelenleg egy 2020-ig tartó Erdészeti Stratégia van hatályban, amely a fenntartható erdőgazdálkodásra és fejlesztésre koncentrál. Az állam és az erdőgazdálkodók igen komoly lépéseket tettek a fenntartható erdőgazdálkodás kialakítására és fejlesztésére. A fenntartható gazdálkodás alkalmazása által lehetőség nyílik az ezt igazoló tanúsítványok, elsősorban az FSC megszerzésére.

4. táblázat A vietnami erdőgazdálkodás összesített adatai 2005-ben (forrás: világ – FAO w4)

Table 4 Summarized forestry data in Vietnam in 2005 (source: world – FAO w4)

	Egység	Világ	Vietnam
Erdészeti erőforrások			
Összes erdőterület	millió ha	3952	12,616
Erdősültség	%	31	39,73*
Erdőterület/fő	ha/fő	0,62	0,15
Erdőterület változása	%/év	-0,21	+1,9
Összes élőfa-készlet	milliárd m ³	434	0,691
Átlagos fajlagos élőfa-készlet	m ³ /ha	110	76,5 természetes erdő, 40,6 ültetvényerdő
Átlagos élőfa-készlet/fő	m ³ /fő	70	8,40
Biodiverzitás			
Elsődleges erdőterület	millió ha	1422,7	nincs adat
Különleges célú erdőterület	millió ha	442,62	1,93
	%	11,2	15,2
Termelési célú erdők			
Összes termelési célú erdő	millió ha	1348,4	4,48
- természetes erdő	millió ha	1188,60	3,106
- ültetvényerdő	millió ha	159,80	1,382
Termelési célú természetes erdőterület változása	%/év	-0,35	-0,33
Termelési célú ültetvény-erdőterület változása	%/év	+0,24	+9,74
Védelmi funkció			
Védelmi célú erdők	millió ha	367,53(9,3%)	6,20 (49%)
- természetes erdő		335,91	5,33
- ültetvényerdő		31,62	0,87
Védelmi erdő	%	8,60	12,65
Szocio-ökonómiai funkció			
Fakitermelés	millió m ³ /év	~ 3000	2,7
- iparifa		1800	nincs adat
- tűzifa		1200	nincs adat
Magán erdőtulajdon	%	16,00	10% (1,2 millió ha)

* http://rainforests.mongabay.com/deforestation/archive/Viet_Nam.htm

2006-ban egyetlen erdőgazdálkodónak volt meg az FSC tanúsítványa, azonban a vietnami fafeldolgozó és bútortipar fejlődésével ezt egyre inkább igénylik, mivel az export lehetőségéhez erre egyre nagyobb szükség van. Ugyanakkor erdővesztések még mindig jelentkeznek az országban. Egyrészt illegális kitermelések történnek, másrészt szegény hegyvidékeken a parasztok felégetnek erdőterületeket, hogy mezőgazdasági területekhez jussanak. Például 2005-ben 2 744 hektár erdő került megsemmisítésre és 7 552 hektár pusztult el tűz miatt. Természetesen a tüzesetek jelentős része természetes eredetű erdőtűz, főként a fenyőfélék, bambuszok, eukaliptuszok, száraz dipterocarpusok veszélyeztetettek.

A központi és helyi hatóságok egységes működésének hiánya is problémát jelent az erdőgazdálkodók számára. A magánerdő-gazdálkodásra való áttérés feszültségeket rejt magában; a jó állapotú, magasabb korú állományok kezelői azonnal profitot szereznek erdeikből, míg a kopár erdőterületekkel, degradált állományokkal rendelkezőknek először jelentős erőforrásokat kell befektetniük.

A magántulajdonú ültetvényerdők esetében kedvezőtlen jelenség a gyors profitszerzés dominanciája az értékes állományok termelésével szemben. A tőkehiánnyal küzdő termelők inkább csak 3–7 éves vágásfordulóval termelnek, ami csak rostfát, tűzifát eredményez, semmint hogy 10–15 éves vágásfordulóval magasabb értékű választékokat is előállítanának, a monokultúras ültetvényerdők pedig biodiverzitás szempontjából nem tudják pótolni a kivágott természetes erdőket. Ezek pótlása másodlagos erdőkkel hosszú távú feladat.

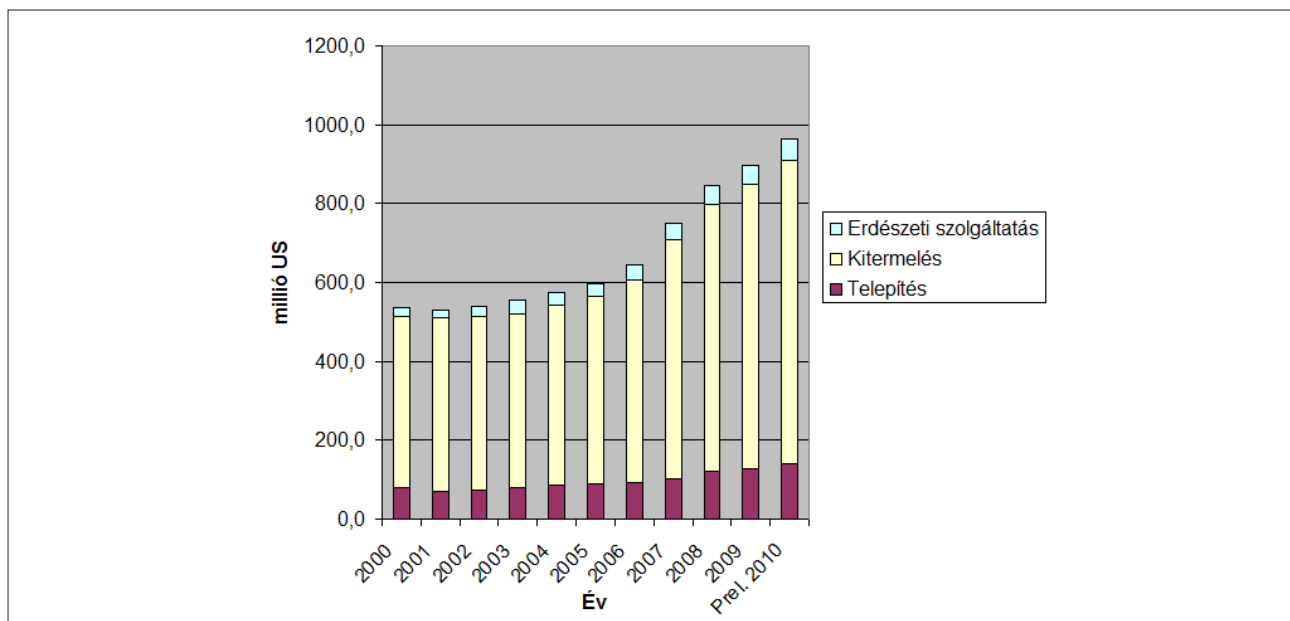
Az erdészeti tevékenység gazdasági teljesítménye

A vietnami statisztikai rendszer három csoportba sorolja be az erdészeti tevékenységet: fakitermelés, telepítés-csemetegondozás, és erdészeti szolgáltatások. A három tevékenység összes értékét 2009-ben 745 millió USD-re becsülték, melyből a fakitermelés mintegy 80%-ot tett ki, a másik kettő pedig 14, illetve 6%-ot. Mindhárom tevékenység növekedett az elmúlt évek során, a fakitermelés értéke megduplázódott 10 év alatt (4. ábra). A fakitermelés választék összetétele az 5. ábrán látható.

Összefoglalás

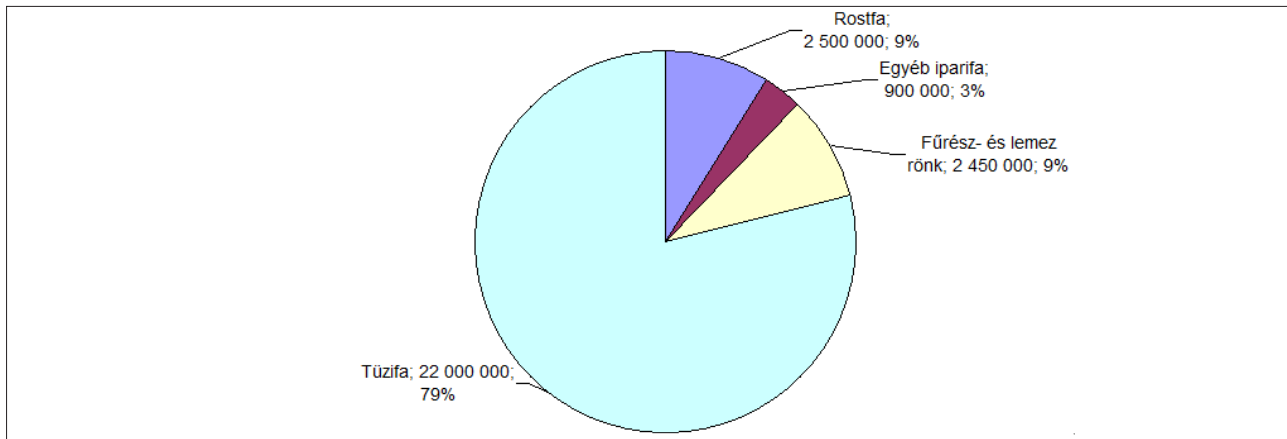
A vietnami erdőgazdálkodás igen komoly sikereket ért el az elmúlt 15–20 évben az ültetvényerdők telepítése, a természetes erdők rehabilitációja, a fenntartható erdőgazdálkodás megteremtése és megerősítése – és ezek eredményeként – az erdőterület növelése terén. A sikerek ellenére számos problémával néznek szembe: az ültetvényerdők nem pótolják a természetes erdőket monokultúras, alacsony biodiverzitású rendszerek lévén.

Az erdőtelepítések és a kitermelések egyaránt növekvő tendenciákat mutatnak, és a már említett céltudatos erdőpolitika alapján a tendencia várhatóan tovább folytatódik. A kitermelés választék-összetételében nagyon



4. ábra A vietnami erdészet gazdasági forgalma, 2000–2009 (forrás: Vietnam General Statistics Office)

Figure 4 Turnover of Vietnamese forestry, 2000–2009 (source: Vietnam General Statistics Office)



5. ábra A fakitermelés választék összetétele 2010-ben (forrás: FAO)

Figure 5 Composition of logging in 2010 (source: FAO)

magas tűzifa részarány látható, és az ipari faanyag mindössze 21%-ot tesz ki. Az ipari faanyag utáni igény növekedése a kitermelési szerkezet összetételét is várhatóan változtatni fogja. A növekvő faanyagigény kielégítésére a hengeresfa-import is megnövekedett az országban.

Összességében a vietnami erdőgazdálkodás az elmúlt néhány évtizedben jelentős fejlődésen ment át, amely az eredményekben is látványosan mutatkozik. Ehhez nagyon jó háttérrel biztosítanak a világviszonylatban alacsony feldolgozási költségek, valamint a növekvő faipari alapanyag igények.

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, mely projekt támogatta a munka személyi költségeit, valamint a „Trópusi faanyagok felhasználásának korlátozása (ezzel a trópusi erdők védelme), más gyorsan növekvő faanyagok és/vagy fásszárú növények felhasználásának elterjesztésével” című TÉT-10-1-2011-0675 számú projekt közreműködésével, mely projekt az utazási és szállás költségeket fedezte.

Irodalomjegyzék

- Anh LH (1997): Vietnám: Sikeres átalakulás? (http://www.ksh.hu/statszemle_archive/1997/1997_02/1997_02_165.pdf)
- Cuong DM, Hong BM, Hoai NT, Toan PQ (2011): Anisoptera of Cuc Phuong National Park, North Vietnam, International Dragonfly Fund, IDF Report 33, 1-18. old.
- FSIV: Forestry Science Institute of Vietnam: http://theredddesk.org/sites/default/files/viet_nam_forestry_development_strategy_2.pdf
- Huy N H (1968): Vietnám erdeiről és erdőgazdaságáról, *Az erdő*, 17(7):322
- Nagy, G. G. (2010): Ezeréves fák árnyékában. *Természetbúvár* 21(2):28-31
- Molnár A., Pásztor Z. (2013): Vietnám faipara: robbanásszerű fejlődés veszélyei, *Faipar* 61(3):29-35
- Vietnam Forestry Development Strategy, http://theredddesk.org/sites/default/files/viet_nam_forestry_development_strategy_2.pdf
- Vietnam Forestry Outlook Study, <http://www.fao.org/docrep/014/am254e/am254e00.pdf>
- w1: <http://www.recoftc.org/site/Vietnam-s-Forestry-Reforms>
- w2: http://rainforests.mongabay.com/deforestation/archive/Viet_Nam.htm
- w3: <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/EASTASIAPACIFICEXT/VIETNAMEXTN/0,,contentMDK:20246876~pagePK:141137~piPK:141127~theSitePK:387565,00.html>
- w4: <http://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?iso3=VNM>

A nem-lineáris rheológia alkalmazása a faalapú anyagok pelletálásával, tömörítésével összefüggésben

II. kísérleti rész

KOCSIS Zoltán¹, CSANÁDY Etele¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Kar

Kapcsolat: zoltan.kocsis@skk.nyme.hu

Kivonat

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 por-forgács halmazok nagy nyomáson történő tömörítése során bekövetkező mechanikai változások 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 kialakult pellet maradé deformációt szenved. A maradé deformáció mértéke határozza meg a pellet tulajdonságait, elsősorban a sűrűségét. Jelen kutatási szakaszban kidolgozásra került a relatív falsúrlódással összefüggő kitolási erő közelítő mechanikai modellezése. Az elméleti alapokon levezetett összefüggéseket mérésekkel is igazoltuk. A kapott eredmények a gyakorlat számára hasznosíthatók és nagyban hozzájárulnak a por-forgács halmazok tömörítésével összefüggő elméleti ismeretek bővítéséhez.

Kulcsszavak: por-forgács halmazok, tömörítés, rheológia, relatív falsúrlódás

Application of a non-linear rheological model for the compaction of wood-based materials

2th part of the research

Abstract

The mechanical properties of pellets produced under high pressure depend on many factors. The most important factors are wood species, particle size, moisture content, pressure, the rate of compression, the holding time on deformation, the diameter of the ram and the temperature of pressing. The analysis of the resulting mechanical changes during high pressure compression of wood chips is possible using non-linear rheological methods, because wood has non-linear viscoelastic properties. Consequently, during the compression process the elastic modulus of wood chips and dust increases greatly, and the resulting pellet at the end of the process suffers residual deformation. The rates of residual deformation determine the properties of the pellet, especially its density. In the present stage of our research, an approximate model was developed for the description of the force and the required length of press. The derived theoretical correlations have been verified through experimental results. The obtained results are useful for practical applications and contribute greatly to expanding the theoretical knowledge of wood chips and dust behavior.

Keywords: wood chips and dust, rheology, compaction, relative wall friction

Bevezetés

Cikkünk első részében (Kocsis és Csanády, 2014) bemutattuk azokat a főbb kutatási irányokat, melyek segítségével pontosabb képet kaphatunk a por-forgács halmazok nagy nyomáson történő tömörödési folyamatairól. Meghatároztuk azokat a főbb befolyásoló tényezőket (nedvességtartalom, nyomófej átmérő, présnyomás, szemcseméret, stb.), melyek nagyban befolyásolják a kialakult pellet sűrűségét. Megállapítottuk, hogy a faalapú por-forgács szemcsék mérete és szilárdsága jelentős hatással van a kialakult pelletsűrűsége, vagyis minél keményebb a szemcse (minél nagyobb a szemcse szilárdsága), annál jobban ellenáll a pelletálási nyomásnak. Láthattuk, hogy azonos fafajon belül a szemcseméret csökkenésével préselési nyomáson (100–140 MPa) csökkent a faanyag halmaz tömör sűrűsége, melynek okát az ún. póruselmélettel (levegő-szilárd rész arány) magyaráztuk. Megállapítottuk azt is, hogy a nedvességtartalom növekedésével egy adott pelletsűrűség kisebb nyomással érhető el, valamint meghatároztuk azt a nedvességtartalmi küszöbértéket is (~20%), amely felett a pellet töredezetté vált és sűrűsége is csökkent. A pellet sűrűségét a fent említetteken kívül a nyomófej átmérője is befolyásolta, aminek magyarázatát a relatív falsúrlódással összefüggő elméletekre vezettük vissza, mely a téma fontossága miatt további, mélyrehatóbb kutatásokat igényelt.

E cikkben tehát a relatív falsúrlódással összefüggő kutatási eredményeinket mutatjuk be, melyek során megalkottuk fenyő és akác por-forgács minták esetében bizonyos elméleti megfontolások alapján a pelletálási folyamatokra jellemző kitolási erő közelítő mechanikai modelljét.

Elméleti megfontolások

Előző cikkünkben már tettünk utalást a relatív falsúrlódás hatásának jelentőségére. A relatív falsúrlódás a tömörítő csatorna átmérőjének (D) – ami közel azonos a pellet átmérővel – és a pellet magasságának (L) a viszonya. Az irodalmak (Biot, 1954; Findley és mtsai, 1989; Heiko és mtsai, 2005; Hofko, 2006) ezt L/D viszonyként említik. Ennek értelmében minél kisebb a tömörítő csatorna átmérője a pellet magasságához képest (vagyis az L/D hányados nagy), annál nagyobb lesz a relatív falsúrlódás mértéke a kompresszió erőkhöz viszonyítva (megnő a relatív súrlódási ellenállás), vagyis nagyobb lesz a nyomáskülönbség és ez által a sűrűség gradiense is a pellet hossza mentén. A pellet hossz mentén létrejövő nyomásváltozás az [1] egyenlet alapján jó közelítéssel meghatározható (Biot, 1954; Sacht, 1967):

$$p_x = p_k e^{-kx} \quad [1]$$

ahol:

p_k – a nyomófej által kifejtett nyomás (N/mm²)

p_x – a csökkent nyomás a pellet hossza mentén (N/mm²)

x – a pellet hosszmenti koordinátája (relatív koordináta hely) (mm)

k – állandó

A nyomáscsökkenés tehát a pellet hossza (x koordináta) mentén az [1] egyenlet alapján exponenciális jellegű. A függvény lefutását, meredekségét nagyban befolyásolja a kitevőben szereplő k állandó értéke. Minél kisebb a k értéke, annál kisebb a nyomásesés a pellet hossza mentén, aminek következtében kisebb lesz a sűrűség hossz menti gradiense is. A kitevőt befolyásolja egyrészt a falfelület (F_{fal})/térfogat (V) viszonya, amely az alábbiak szerint számítható azonos pellet magasságot feltételezve:

$$k' = \frac{F_{fal}}{V} = \frac{D \cdot \pi \cdot L}{\frac{D^2 \pi}{4} \cdot L} = \frac{4}{D} \quad [2]$$

A méréseket 6, 8, és 16 mm-es nyomófejjel végeztük el, így az F_{fal}/V arány sorban: 0,67; 0,5 és 0,25 1/mm értékre adódott. A gyakorlatban a relatív falsúrlódás meghatározása ennél összetettebb feladat, ugyanis a súrlódási tényező (μ) és a Poisson-tényező (ν) befolyásoló hatását a [3] egyenletben figyelembe kell venni. Ezek alapján a k' állandó értéke az alábbiak szerint módosul (Findley és mtsai, 1989):

$$k = \frac{4}{D} \mu \frac{\nu}{1 - \nu} \quad [3]$$

ahol:

μ – a faanyag halmaz (pellet) és a tömörítő csatorna fala között létrejött súrlódási tényező

ν – a Poisson-tényező (oldalnyomás-tényező)

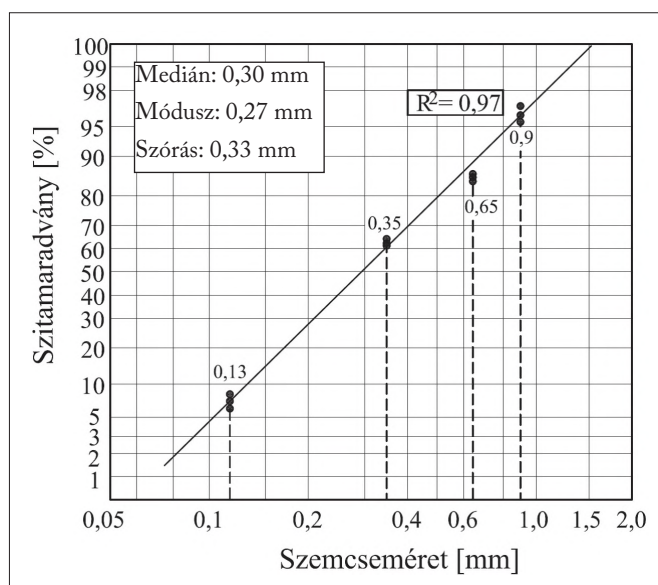
Az [1] egyenlet használatához ismernünk kell az anyagok Poisson-tényezőjét és a μ súrlódási tényező értékét fa-acél súrlódási anyagpárra jellemzően, a nyomás, a nedvességtartalom, a szemcseméret és a fafaj függvényében. A pelletálási tartományban a faanyagalmaz Poisson-tényezője $\nu=0,35-0,45$ között alakul (Sacht, 1967). A súrlódási tényező elsősorban a fafaj, szemcseméret és a nedvességtartalom függvénye, azonban a nyomás is jelentős hatással van rá. Ez utóbbi hatás abban nyilvánul meg, hogy egyrészt a nagy nyomás deformálja a faanyagalmazt, így az érintkező felület módosul, másrészt víz préselődik ki az anyagból, amely a súrlódási felületet keni, csökkentve ezáltal a tényező értékét. Ennek következtében nagy nyomások esetén a súrlódási tényező a nagyobb nedvességtartalmú tartományban csökken. A különféle faporok súrlódási tényezőjével összefüggő kutatások megtalálhatók a következő irodalmakban (a teljesség igénye nélkül: Varga, 1983; Varga, 1993; Sitkei, 1981).

A falsúrlódás hatására bekövetkező nyomáscsökkenés meghatározását egy összetett súrlódási problémára vezethetjük vissza, melyben a súrlódási tényező (μ) és a Poisson-tényező (ν) nem ismert és a meghatározásuk is nehéz. Méréseinkkel kimutattuk, hogy egyrészt a kitolási erő jó közelítéssel lineárisan csökken a pellet hossza mentén, melyből következik, hogy változik a nyomásés függőleges irányban (az x koordináta mentén). Másrészt pedig a kitolási erő csökkenésének hatására a Poisson-tényezővel figyelembe vett súrlódási erő, majd a belőle számított oldalnyomás (σ_x) is változik a kitolási úthossz függvényében. A gyakorlatban, mivel a pelletáláson folyamatos a kitolás (folyamatos az anyagalmaz) a μ értéke közel állandó, de ha egy pelletre vonatkoztatjuk – vagyis véges hosszal vesszük figyelembe –, akkor változik. A későbbiekben levezetett elméletnél bizonyos megfontolások alapján μ értékét állandónak tekintettük. A jelenlegi kutatásunkban jó közelítéssel, iterációs alapon meghatároztuk a kitolási erő változását (F_x) a pellet hosszkoordinátájának (x koordináta) függvényében bevezetve a relatív felületcsökkentési tényező (ψ) fogalmát.

Anyagok és módszerek

Kutatásainkat lucfenyő (*Picea abies*) és akác (*Robinia pseudoacacia*) por-forgács halmazokon 0,063–1 mm-es szemcseméret tartományban, szobahőmérsékleten, 10%-os alapanyag-nedvességtartalom mellett 140 MPa állandó tömörítési nyomáson végeztük el az előző cikkünkben ismertetett mérőeszközök (INSTRON univerzális szilárdságvizsgáló gép, utánaprító, digitális mérleg, stb.) segítségével (Kocsis és Csanády, 2014). A méréseket zárt térben hajtottuk végre, azaz a tömörítő cső egyik vége a tömörítés során le volt zárva, tehát a tömörítést követően a pelletet ki kellett tolnunk a csőből. A tömörítés végén kialakult por-forgács halmazok sűrűségét tömör pellet sűrűségnek neveztük el és cikkünkben ρ_{max} -szal jelöltünk. A kitolást követően a pellet kirugózott, és a megmaradt relatív maradé deformáció határozta meg a pellet sűrűségét, amit ρ_{pellet} -tel jelöltünk. A kitolást állandó sebességgel hajtottuk végre ($v_{kit} = 8$ mm/s) és a kitoláshoz szükséges erőt ($F_{kitolási}$) regisztráltuk. A tömörítést 10 mm/min állandó sebesség mellett végeztük el három nyomófej átmérőnél (6 mm, 8 mm, 16 mm). Fafajonként 90 mérést végeztünk ismétlésekkel együtt (minden mérést háromszor ismételtünk meg). A vizsgált fafajok abszolút száraz sűrűségi értékei Molnár, 1999 alapján: $\rho_{ofenyő} = 430$ kg/m³; $\rho_{akác} = 720$ kg/m³, míg az abszolút tömör faanyag sűrűsége (tisztá sejtfa sűrűsége): 1520–1620 kg/m³ (Babos és mtsai, 1979). A fenti szemcseméret tartomány (0,063–1 mm) a jellemző a gyakorlatban utánaprított faalapú por-forgács halmazokra is, melyek a pelletek alapanyagául szolgálnak. A frakció-tartományon belül domináns 0,2–0,5 mm közötti szemcseméret az 1. ábrán látható.

Fontos megemlíteni a vizsgált fafajok anatómiai sajátosságait is a szemcsemérettel összefüggésben. Látni fogjuk, hogy a szemcseméretnek jelentős hatása van a pellet sűrűségére, melyek magyarázatát az



1. ábra A frakcióanalízis eredményeként kapott log-normális eloszlás integrálgörbéje

Figure 1 Integral curve of the log-normal distribution

előző cikkünkben tárgyalt póruselmélet (levegő-szilárd rész arány) adta, vagyis a faanyag sajátosságából adódó természetes pórrendszer por-forgács állapotban kiegészül egy plusz pórrendszerrel (levegő), mely alapján külső és belső pórusokról beszélhetünk. Tömörítéskor először a szemcsék közötti külső pórus csökken, majd egy adott nyomás felett (~25 MPa) a szemcse belső pórusának csökkenését figyeltük meg. Érdekes kérdést vet fel az a határszemcse méret, melynél még belső pórusról beszélhetünk. Ennek a vizsgálata további kutatásokat igényel. Láthatjuk, hogy vizsgálataink során a szemcseméret elérte az 1 mm-t, ami azt jelenti, hogy akác esetében ez az 1 mm-es méret lehet akár egy teljes sértetlen libriform rost is, míg fenyőnél ez már csak a tracheida hosszának kb. negyede, tehát mindenképpen roncsolt rostokról beszélhetünk. Ezekből a faanatómiai sajátosságokból eredő fafaji különbségek is befolyásolják a por-forgács halmazok feszültség-deformáció (σ - ε) viszonyait.

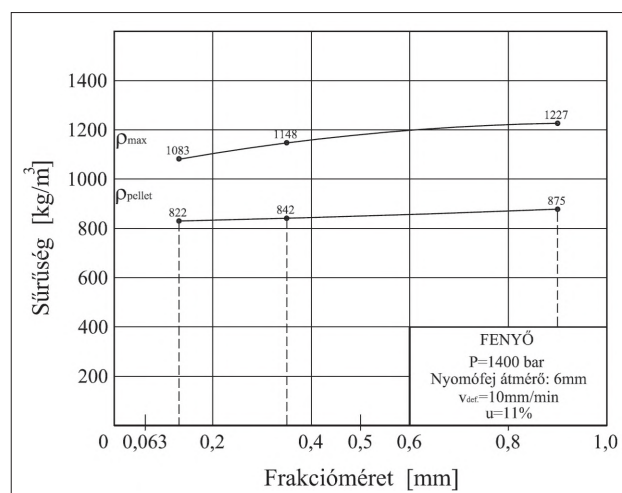
Mérési eredmények, következtetések

A kapott eredmények továbbra is három azonos mérés átlagából származnak. A kutatási eredményeinket először 6 mm-es nyomófej átmérő mellett ismertetjük.

A vizsgálatokat a 2–3. ábrákon látható szemcseméret tartományokban végeztük el, konkrétan: 0,063–0,2 mm; 0,2–0,5 mm; 0,8–1 mm. Mivel a frakcióintervallum közepén szerepeltettük a kapott adatokat. Megfigyeltük, hogy azonos fafajnál a szemcseméret csökkenésével a pelletsűrűség (ρ_{pellet}) is csökkent. A csökkenés mértéke mind a két fafaj esetében azonos nagyságú volt, vagyis 4–6%. A pelletsűrűséggel együtt a tömör sűrűség (ρ_{max})¹ is csökkent a szemcseméret csökkenésével mind a két fafaj esetében 12–14%-kal. A változás összefügg a relatív kirugózással és a relatív maradó deformációval. Megállapítottuk, hogy a fenyő jobban összetömöríthető, mint a nála keményebb akác, vagyis fenyő esetében a fajlagos alakváltozási értékek tömörítéskor (140 MPa nyomáson) $\varepsilon=0,8$ – $0,85$ között adódtak, míg akácnál $\varepsilon=0,75$ – $0,8$ értékeket kaptunk. A 2. és 3. ábrán látható, hogy fenyő esetében 140 MPa nyomáson és 0,063–1 mm-es szemcseméret tartományban az akáchoz viszonyított nagyobb tömör sűrűség ellenére szisztematikusan kisebbek lettek a pelletsűrűségi értékek az akáchoz képest. Ez azzal magyarázható, hogy a fenyőnek a tehermentesítést követően nagyobb volt a relatív visszarugózása (4. ábra), mint az akácnak, ezzel összefüggésben kisebb relatív maradó deformációt szenvedett (5. ábra), és ezáltal a pelletsűrűségi értékek is kisebbre adódtak. Ezt úgy is megfogalmazhatjuk, hogy ugyanazt a sűrűségi értéket a fenyő nagyobb nyomással éri el, mint az akác. Ez a gyakorlatban összefüggésben van a pelletmatrica szélességével, ugyanis pelletálásakor a puhább (kisebb szilárdságú) fafajokhoz szélesebb matricát alkalmaznak.

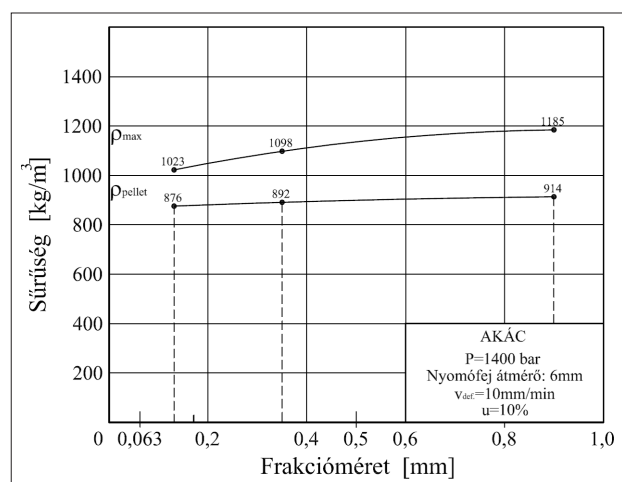
A 4. ábrán látható, hogy a fenyő adott nyomáson relatíve jobban visszarugózik, mint az akác. A szemcseméret csökkenésével a relatív visszarugózás csökkent, a

¹ A tömör pellet (ρ_{max}) sűrűség a préselés folyamán összenyomott por-forgács halmaz sűrűsége, vagyis nem azonos a végleges (kirugózott) pellet (ρ_{pellet}) sűrűséggel.



2. ábra A pelletsűrűség változása a frakcióméret függvényében fenyő mintánál 6 mm-es nyomófej átmérőnél

Figure 2 The changes of pellet density as a function of fraction size for spruce. The diameter of ram is 6 mm



3. ábra A pelletsűrűség változása a frakcióméret függvényében akác mintánál 6 mm-es nyomófej átmérőnél

Figure 3 The changes of pellet density as a function of fraction size for black locust. The diameter of ram is 6 mm

relatív maradó deformáció pedig nőtt. A keményebb és nagyobb szilárdságú szemcse jobban ellenállt a nyomásnak, ezért a tömörítés során kisebb fajlagos alakváltozást (ε) szenvedett, ezáltal csökkent a faanyaghalmozba bevitt deformációs feszültség nagysága is, mint azt a későbbiekben majd látni fogjuk. Minél kisebb a szemcseméret, annál kisebb mértékben rugózott vissza a faanyaghalmoz, tehát annál nagyobb lett a relatív maradó deformáció. Ez megfigyelhető akác és fenyő minták esetében az 5. ábrán. A gyakorlatban az elvárt minőségi követelményeknek megfelelően $\sim 1100 \text{ kg/m}^3$ sűrűségű pelletet vizsgálataink alapján minimum 0,8-as relatív maradó deformáció mellett érhetünk el, amihez kutatásaink alapján tömörítéskor $\varepsilon=0,8-0,85$ fajlagos alakváltozás szükséges.

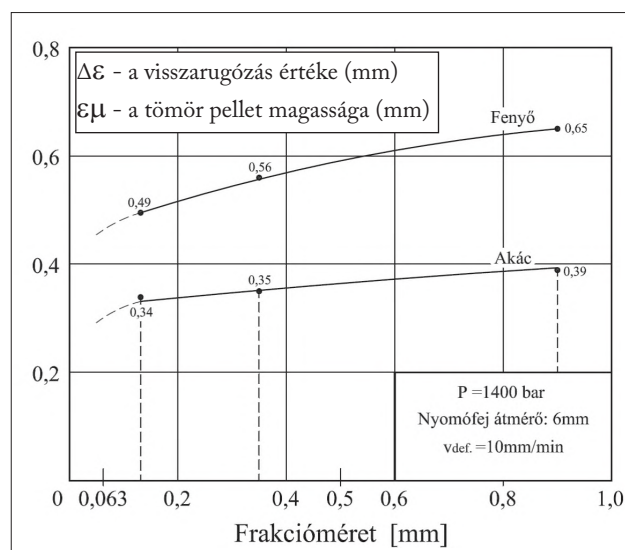
A további két átmérőtartományban (8 mm és 16 mm) végzett kutatási eredményeinket a következőkben ismertetjük röviden. A 8 mm-es nyomófejjel végzett mérési adatok szisztematikusan a 6 mm és a 16 mm nyomófejjel végzett mérési eredmények közé estek.

A 6. és 7. ábrán látható, hogy a tömörítő csatorna átmérőjének növelésével a pelletsűrűség is növekedett, tehát kisebb volt a relatív falsúrlódás hatása (csökkent a tengelyirányú sűrűlódási ellenállás) és ezáltal a nyomás-, és vele együtt a sűrűség gradiense is a pellet hossza mentén. Érdekes, hogy a 7. ábrán látható görbék alakja ellentétes a korábbiakkal. A 6 mm és a 8 mm átmérővel végzett mérések során ugyanis a szemcseméret csökkenésével a tömör- és a pelletsűrűség is csökkent, 16 mm-nél viszont pont fordított a helyzet. Ennek az oka a relatív falhatásban keresendő, vagyis 16 mm-es átmérőnél a falhatás sokkal kisebb, méréseink alapján mintegy 15%-a a 6 mm-es átmérőhöz képest. Ebből adódóan a kisebb szemcsék jobban tömöríthetők, aminek következtében a tömör- és a pelletsűrűség nagyobb lett. Ugyanez a jelenség megfigyelhető akác mintánál is (8–9. ábra).

Akác mintánál – követve az eddigi tendenciát – nagyobb pelletsűrűségi értékeket kaptunk kisebb tömör sűrűség mellett, mint a fenyő minta esetében. A relatív visszarugózási értékek 16 mm-es átmérőnél csökkentek a 6 mm-es átmérőhöz képest a falhatás csökkenése következtében. A csökkenés mértéke átlagosan 15% volt. A maradó deformáció ezzel szemben 16 mm-es átmérőnél növekedett átlagosan mintegy 20%-kal a 6 mm átmérőhöz képest.

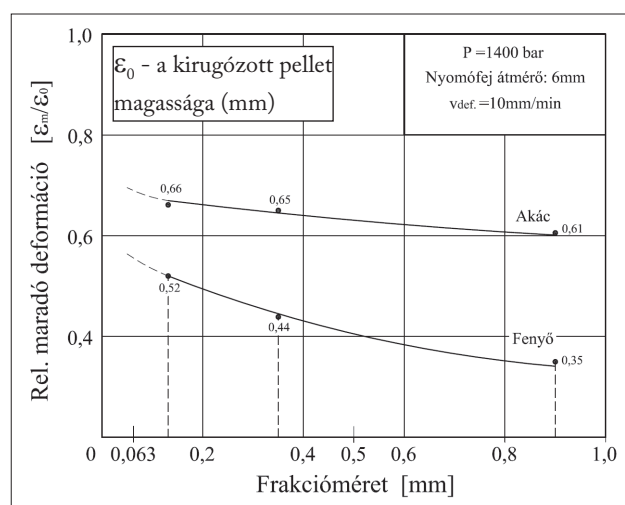
A kitolási erő közelítő modellezése

A nyomás hossz menti gradiensek változását – mint ahogyan azt a fentiekben is tárgyaltuk – egy összetett sűrűlódási problémára vezettük vissza, ahol a μ és a ν értékét csak mérésekkel lehet közelítőleg meghatározni, ugyanis véges pellethossznál ezek nem állandók. Ezért célul tűztük ki – a relatív falsúrlódás kutatására alapozva –, hogy a vizsgálati frakciótartományban (0,063–1 mm) meghatározzuk a kitolási erő változását a pellethossz mentén (x koordináta) három átmérőnél, amellyel kimutatható a falhatás és p_x is nagyobb pontossággal számítható a mérési eredményeink alapján. Másrészt pedig az elméleti összefüggés felhasználásával a rugalmas deformációból származó feszültség is meghatározható, amely elsősorban a pellet radiális kirugóztatását (kitágulását) okozza a kitolást követően fenyő és akác mintáknál. Első lépésben megmértük fenyő és akác mintánál az előzetesen 140 MPa



4. ábra A relatív visszarugózás változása a frakcióméret függvényében 6 mm-es nyomófej átmérőnél

Figure 4 The changes of relative rebound as a function of fraction size. The diameter of ram is 6 mm



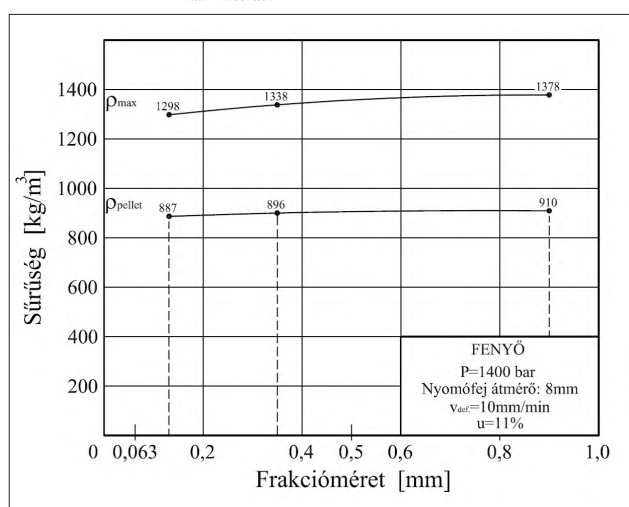
5. ábra A relatív maradó deformáció változása a frakcióméret függvényében 6 mm-es nyomófej átmérőnél

Figure 5 The changes of relative permanent deformation as a function of fraction size. The diameter of ram is 6 mm

nyomáson tömörített faanyagalmazok kitolási erő csökkenését a pellet hosszkoordinátája (x koordináta) mentén a vizsgálati frakció intervallumban (0,063–1 mm) a három nyomófej átmérőnél (6 mm, 8 mm, 16 mm) állandó kitolási sebesség ($v_{kit.} = 8$ mm/s) mellett. A kapott mérési adatok alapján megállapítottuk, hogy a kitolási erő jó közelítéssel lineárisan csökken a pellet hosszkoordinátájának (x koordináta) függvényében (9. ábra szaggatott vonal). Méréseink során a kitolási erő értékekre illesztett görbék korrelációs koefficiens (R^2) értéke 0,95–0,98 között alakult az átlagos pellethossz (25 mm) figyelembevételével (9. ábra). A következő lépésben mérésekkel meghatároztuk a három nyomófej átmérőnél a frakcióintervallumra (0,063–1 mm) jellemző maximális kitolási erőt fenyő és akác mintánál, amely alapját képezte az elméleti levezetésnek. Megállapítottuk, hogy a maximális kitolási erő fafajon belül közel azonos volt mind a három átmérőtartományban. Ebből is érzékelhető a relatív falsúrlódás jelentős hatása.

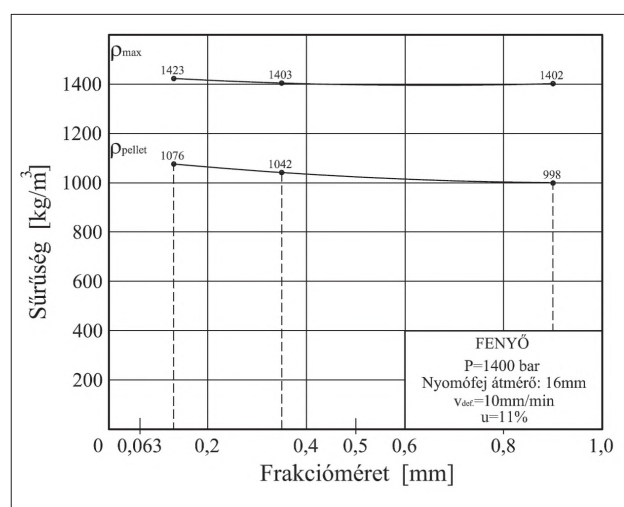
A maximális kitolási erő változását láthatjuk a 10. ábrán a vizsgált frakcióintervallumban a három nyomófej átmérőnél fenyő és akác mintánál. A maximális kitolási erők az alábbiak szerint alakultak:

- Fenyő: $F_{max\ kitolási} = 3500$ N
- Akác: $F_{max\ kitolási} = 4500$ N



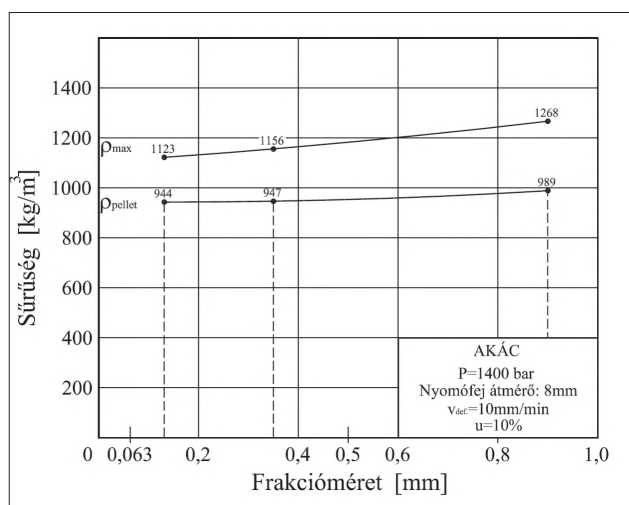
6. ábra A pelletsűrűség változása a frakcióméret függvényében fenyő mintánál 8 mm-es nyomófej átmérőnél

Figure 6 The changes of pellet density as a function of fraction size for spruce. The diameter of ram is 8 mm



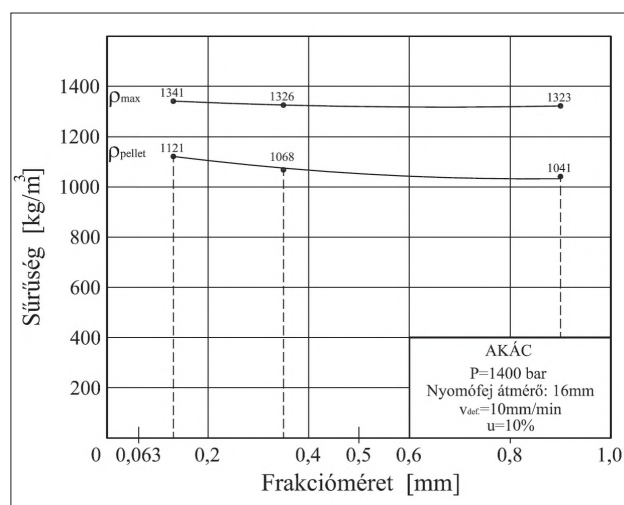
7. ábra A pelletsűrűség változása a frakcióméret függvényében fenyő mintánál 16 mm-es nyomófej átmérőnél

Figure 7 The changes of pellet density as a function of fraction size for spruce. The diameter of ram is 16 mm



8. ábra A pelletsűrűség változása a frakcióméret függvényében akác mintánál 8 mm-es nyomófej átmérőnél

Figure 8 The changes of pellet density as a function of fraction size for black locust. The diameter of ram is 8 mm



9. ábra A pelletsűrűség változása a frakcióméret függvényében akác mintánál 16 mm-es nyomófej átmérőnél

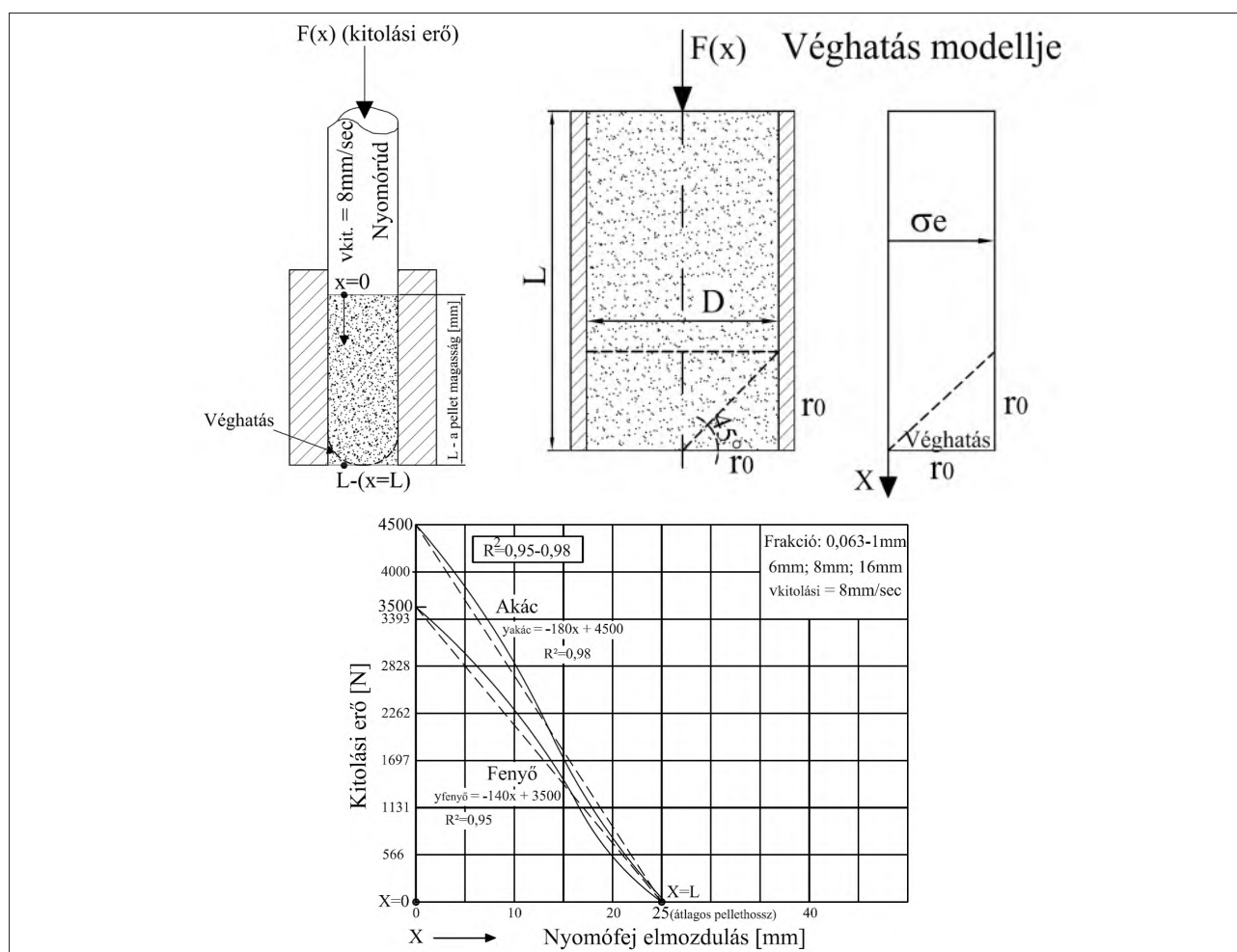
Figure 9 The changes of pellet density as a function of fraction size for black locust. The diameter of ram is 16 mm

A maximális kitolási erő ($F_{max\ kitolási}$) arányának változása fenyő és akác mintánál az adott tömörítési nyomáshoz (140 MPa) tartózkodó nyomóerőkhöz képest ($F_{max\ kitolási}/F_{max}$, [%]):

- Fenyő, 6 mm átmérőnél: 88% Akác, 6 mm átmérőnél: 112%
- Fenyő, 8 mm átmérőnél: 50% Akác, 8 mm átmérőnél: 64%
- Fenyő, 16 mm átmérőnél: 12% Akác, 16 mm átmérőnél: 16%

Láthatjuk, hogy a kapott kitolási erő arányok akác esetében mindhárom átmérőnél szisztematikusan nagyobbak adódtak, mint a fenyőnél. Mivel az akác szemcsék nagyobb szilárdságúak és ezáltal ridegebbek is a fenyő szemcséknél, ezért a szemcsék az adott tömörítési nyomáson (140 MPa) feltehetően jobban töredeztek, így változott a relatív sűrűdési felület nagysága. A relatív sűrűdési felület változásával (növekedésével) megnőtt a kitolási erő a fenyőhöz képest, sőt előfordult, hogy meghaladta a maximális tömörítési nyomásból származó nyomóerő értékeket is (ld. 112%). Ezen kívül természetesen a kezdeti szemcsék alakja is nagyban befolyásolja a sűrűdési tényező értékét, amellyel kapcsolatban további kutatásokat végzünk.

Tömörítéskor a por-forgács halmaz szabad végén ún. véghatás lép fel, tehát expandál (kirugózik) a halmaz (9. ábra „véghatás modellje”). Ennek következtében a szabad végnél a faanyag halmaz leépíti a σ_e oldalnyomásból származó feszültséget. A gyakorlatban a kirugózás valamilyen függvény szerint változik. Ezt a változást ún. relatív felületcsökkentési tényezővel (ψ) vettük figyelembe. A rugalmas féltér elméleteknek megfelelően az egyes irodalmak a σ_e feszültség csökkenést tömör anyagok esetében 45° -os sűrűdési félkúpszög alatt veszik figyelembe (Timoshenko és Woinowsky-Krieger, 1966; Csanády és Magoss, 2013). Jó közelítéssel a pellet is tömör anyagnak tekinthető, tehát nem tévedünk nagyot, ha a levezetett elméletnél a 45° -os sűrűdési félkúpszöget vesszük alapul. Az x koordináta mentén halad kifelé a pellet a tömörítő csőből. A nyomófej elmozdulása, tehát az x koordináta mentén történik (9. ábra).



10. ábra A maximális kitolási erő csökkenése a pellet hossz függvényében

Figure 10 The reduction of maximum pushing force as a function of pellet length

A pellet a nyomócső falával érintkező felülete: $A_x = D\pi(L - x)$ [4]

ahol:

L – a pellet hossza (mm)

D – a nyomófej átmérő (mm)

x – a pellet függőleges irányú elmozdulása az x koordináta mentén (mm) (kezdetben $x=0$)

A kitolási erő: $F_{(x)} = A_x \sigma_e \mu$ [5]

ahol:

σ_e – a megmaradt rugalmas deformációból származó nyomófeszültség (oldalnyomás) (N/mm²)

μ – a pellet és a tömörítő csatorna fala között fellépő súrlódási tényező

A súrlódási tényező nem függ a felület nagyságától, csak akkor, ha adhézió jön hozzá (Varga, 1993). Esetünkben az adhézió nem jelentős, ezért elhanyagolhatjuk.

A felületet helyettesítve: $F_{(x)} = D\pi\sigma_e\mu(L - x)$, induláskor $x = 0$ [6]

A pellet radiális irányú kitágulása (kirugózása) meghatározható az alábbi módon, a Hooke-törvény értelmében:

$$\frac{\Delta r}{r_0} = \frac{1-\nu}{E} \sigma_e, \quad r_0 = D/2 \quad [7]$$

ahol:

Δr – a pellet radiális irányú kirugózása (mm)

r_0 – a nyomófej sugara (mm)

ν – a Poisson-tényező

E – a rugalmassági modulus, amely a falterhelést adja (N/mm²)

A [7] egyenlet átrendezésével σ_e kifejezhető: $\sigma_e = \frac{E}{1-\nu} \cdot \frac{\Delta r}{r_0}$ [8]

A pellet szabad végén tehát leépül a σ_e feszültség a D/L viszony függvényében, ezért az effektív felület csökken (9. ábra „véghatás modellje”). Ha a feszültség leépítést a végeken 45°-os súrlódási félkúpszög szerint vesszük, akkor a relatív felületcsökkentési tényező felírható az alábbi módon:

$$\psi_{\left(\frac{D}{L}\right)} = \frac{D\pi(L - r_0)}{D\pi \cdot L} = \frac{L - r_0}{L} \quad [9]$$

Esetünkben az átlagos pellet hossza: $L_{\text{pellet}} = 25$ mm. Ebben az esetben a relatív felületcsökkenés a három átmérrőnél, sorra:

$$\psi_6 = 0,88$$

$$\psi_8 = 0,84$$

$$\psi_{16} = 0,68$$

A kitolási erő (F_x) közelítő elméleti kifejezése ezzel:

$$F_{(x)} = 2\pi \frac{E}{1-\nu} \mu \Delta r (L - x) \psi_{\left(\frac{D}{L}\right)} \quad [10]$$

A radiális és a relatív radiális kirugózás (Δr_i , illetve $\Delta r_i / r_{0i}$) méréseink alapján fenyőre és akácra a három vizsgált átmérrőnél:

$$\phi 6 \rightarrow \Delta r_6 \cong 0,25 \text{ mm} \quad \Delta r_6 / r_{06} = 0,0833 \quad (8,3\%)$$

$$\phi 8 \rightarrow \Delta r_8 \cong 0,3 \text{ mm} \quad \Delta r_8 / r_{08} = 0,075 \quad (7,5\%)$$

$$\phi 16 \rightarrow \Delta r_{16} \cong 0,52 \text{ mm} \quad \Delta r_{16} / r_{016} = 0,065 \quad (6,5\%)$$

A $\Delta r_i \cdot \psi_i$ szorzatok értékei, ennek megfelelően:

$$\phi 6 \rightarrow \Delta r_6 \cdot \psi_6 = 0,25 \cdot 0,88 = 0,22$$

$$\phi 8 \rightarrow \Delta r_8 \cdot \psi_8 = 0,3 \cdot 0,84 = 0,25 \quad (\text{átlag} : 0,27)$$

$$\phi 16 \rightarrow \Delta r_{16} \cdot \psi_{16} = 0,52 \cdot 0,68 = 0,35$$

A súrlódási tényező értékei 10%-os nedvességtartalom esetén 0,2–1 mm-es szemcseméret tartományban, fa-
acél súrlódási anyagpárosítás mellett (Varga, 1983):

Fenyő: $\mu = 0,65$

Akác: $\mu = 0,55$

A fenti adatokkal és az ismert maximális kitolási erővel a rugalmassági modulus, amely létrehozza a σ_c feszültséget meghatározható, felhasználva a [10] egyenletet:

$$\text{Fenyő: } \frac{E}{1-\nu} = 129 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Akác: } \frac{E}{1-\nu} = 193 \text{ N/mm}^2$$

Ez az $\frac{E}{1-\nu}$ által meghatározott feszültség van a pelletbe „bezárva” összenyomott állapotban és ez fogja a radiális irányú tágulást okozni. A tehermentesítés után ezzel a feszültséggel fog expandálni (kirugózni) a pellet. A porforgács halmazok súrlódási tényezőinek vizsgálataival kapcsolatos korábbi kutatásokban (Varga, 1983; Varga, 1993) találhatunk a pelletálásra jellemző szemcseméretnek és nedvességtartalomnak megfelelő súrlódási tényező értékeket, melyek alapján a fenti feszültség jó közelítéssel már meghatározható a vizsgált frakciótartományban (0,063–1 mm).

Ha a tömörítési folyamatoknál ν értékét 0,35-re választjuk, akkor a falterhelést adó rugalmassági modulus a [10] egyenlet felhasználásával már meghatározható:

Fenyő: $E = 83,85 \text{ N/mm}^2$

Akác: $E = 125,45 \text{ N/mm}^2$

A fenti rugalmassági modulusok a falterhelést adják. Nem szabad összetéveszteni a „deformáció modulusal”, amely a tömörítő erőre vonatkozik. Utóbbi a kompresszió görbe egyenletéből határozható meg. Alapul véve az 140 MPa nyomáson előállított pelletet, aminek átlagosan $\varepsilon=0,8$ a fajlagos alakváltozása, ekkor a kompresszió görbe kitevője jó közelítéssel $n=2$. Ezek alapján a nem-lineáris rheológiai egyenletek (Sitkei, 1981) felhasználásával az alábbiak számolhatók:

A feszültség-alakváltozás (σ - ε) összefüggés alapján A -állandó értéke meghatározható:

$$\sigma = P = A \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right)^n \Rightarrow 140 = A \left(\frac{0,8}{1-0,8} \right)^2 \rightarrow A = 8,75$$

A deformáció modulus az A -állandó ismeretében már számítható:

$$E = \frac{\partial P}{\partial \varepsilon} = A \cdot n \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right)^{n-1} / (1-\varepsilon)^2 = 8,75 \cdot 2 \left(\frac{0,8}{1-0,8} \right)^{2-1} / (1-0,8)^2 = 1750 \text{ N/mm}^2$$

Vagy a közepes (szekáns) modulus:

$$E_K = A \frac{\varepsilon^{n-1}}{(1-\varepsilon)^n} = 8,75 \frac{0,8^{2-1}}{(1-0,8)^2} = 175 \text{ N/mm}^2$$

A rugalmas komponens az előzőek szerint a deformáció modulusnak kb. az egytizede. A tehermentesítés után (kirugózás) a pellet deformáció modulusa csökken a számítottéhoz viszonyítva minimum a rugalmas komponensnek megfelelően. Látható, hogy a tömörítés folyamán a pellet deformációs modulusa akár ezerszeresére is változhat (1750 N/mm²). A fenti példa megfelel a fenyő mintánál kapott kutatási eredményeknek. Akác mintánál átlagosan $\varepsilon=0,75$ fajlagos alakváltozást kaptunk. Ezek alapján a deformációs modulusa 1590 N/mm²-re adódott. A fenyő esetében nagyobb volt a faanyagalmazba bevitt deformációs feszültség nagysága, de ezzel együtt csökkent a tömörített halmaz magassága is az akáchoz képest. Az ok, amiért a fenyő jobban kirugózik, mint az akác abban keresendő, hogy a tömörítés végén nagyobb a faanyagalmazba bevitt deformációs feszültség nagysága, ezáltal nagyobb a belső erők szemcsékre gyakorolt hatása is. A fafaji sajátosságokból adódóan a fenyő szemcsék kisebb szilárdságúak és sűrűségűek, mint az akác, így azokra a nagyobb belső feszültségből származó ellenerők jobban kifejtik hatásukat, tehát a faanyag nem-lineáris viskoelasztikus tulajdonsága miatt visszarugózásuk is nagyobb lesz.

Összefoglalás

A relatív falsúrlódással kapcsolatos kutatásaink alapján megállapítottuk, hogy a tömörítő csatorna átmérőjének növelésével a préselési nyomás és a préselési sebesség állandó értéken tartása mellett a pelletsűrűség növekedett, vagyis az átmérő növekedésével arányosan csökkent a relatív falsúrlódás hatása (csökkent a tengelyirányú súrlódási ellenállás) és ezáltal a nyomás-, és vele együtt a sűrűség gradiens is a pellet hossza mentén. Amíg 6 mm-es és 8 mm-es nyomófej átmérőnél a szemcseméret csökkenésével csökkent a pelletsűrűség, addig 16 mm-nél megfordult ez a tendencia. Ennek az oka az, hogy 16 mm-nél a falhatás sokkal kisebb, méréseink alapján mintegy 15%-a a 6 mm-es átmérőhöz tartozó falhatáshoz képest. Méréseinkkel igazoltuk, hogy azonos nyomófej átmérő esetén egy adott pelletsűrűség eléréséhez fenyőnél ~30 százalékkal nagyobb nyomás szükséges az akáchoz képest. Továbbá nagyobb nyomófej átmérőnél (16 mm) ~ 40 százalékkal kisebb nyomás és durvább frakció (1–2,5 mm) is elegendő a kisebb nyomófejhez (6 mm) képest a kívánt pelletsűrűség (~1000–1100 kg/m³) elérése érdekében. Meghatároztuk fenyő és akác minta esetében, hogy 1 mm nyomófej átmérő növekedés az adott mérési paraméterek mellett a vizsgált nyomástartományban (100–140 MPa) és frakciótartományban (0,063–1 mm) átlagosan 2–3% pelletsűrűség-növekedést eredményezett. A relatív falsúrlódás, mint láthattuk, jelentősen befolyásolja a pelletsűrűséget, ezért bevezettük a relatív felületcsökkentési tényező (ψ) fogalmát, melynek segítségével, valamint mérési eredményeinkkel bizonyos elméleti megfontolások alapján közelítőleg modellezni tudtuk a kitolási erő változását a pellet hossz függvényében.

Köszönetnyilvánítás

Ez a cikk 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:

- Babos K., Filló Z., Somkuti E. (1979) Haszonfák. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Biot M. A. (1954) Theory of stress-strain relations in anisotropic viscoelasticity and relaxation phenomena. J. Appl. Phys. Vol. 25, No. 11, pp. 1385-1391.
- Csanády E., Magoss E. (2013) Mechanics of Wood Machining. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. DOI 10.1007/978-3-642-29955-1. pp. 25-30.
- Findley W. N., J. S. Lai and K. Onaran (1989) Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials with an Introduction to Linear Viscoelasticity. Dover Publication, Inc., Mineola, New York
- Heiko T. et al. (2005) Modeling the physical processes relevant during hot pressing of wood-based composites. Part II. Rheology. Published online: 28 September 2005. Springer-Verlag
- Hofko B. (2006) Rheologische Modelle zur Beschreibung des Verformungsverhaltens von Asphalten; Betreuer/in(nen): R. Blab, K. Kappl; Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung; Abschlussprüfung: 24.11.2006. pp. 145-268.
- 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 0014-6897. Elérhető: <<http://www.woodscience.hu/Woodscience/article/view/1/4>>. DOI: http://dx.doi.org/10.14602/WoodScience-HUN_2014_1.
- Molnár S. (1999) Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Sacht H. (1967) Über den Verdichtungsvorgang bei landwirtschaftlichen Halmgütern und die dabei auftretende Wandreibung. Grundl. Landtechn. Bd. 17 (1967) Nr. 2. DK 621-5: 631.358.44: 631.362: 633.004.12. pp. 47-52.
- Sitkei Gy. (1981) A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S. (1966) Lemezek és héjak elmélete. Műszaki könyvkiadó, Budapest
- Varga M. (1983) Por-forgács halmazok mechanikai tulajdonságai, különös tekintettel a tartályból való kifolyásra. Doktori értekezés. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron
- Varga M. (1993) Fapor és forgács halmazok mechanikai tulajdonságainak vizsgálata. Kandidátusi értekezés, Sopron

Kisteljesítményű, faalapú pellet tüzelő berendezés környezeti hatásainak vizsgálata

I. rész

A pelletek dimenzióinak, fizikai és mechanikai tulajdonságainak meghatározása

NÉMETH Gábor¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Gépészeti és Mechatronikai Intézet
Kapcsolat: gabor.nemeth@skk.nyme.hu

Kivonat

Köztudott, hogy sokféle típusú és méretű dendromassza alapon működő hőtermelő egység működik szerte a világban. Általános jellemzőjük, hogy a tüzelés során különböző környezeti hatások forrásainak kell ezeket tekinteni. Legjellemzőbb környezetszennyező közegeknek – számos egyéb mellett (pl: zaj, hamu, alapanyag beszállításból adódó környezeti terhelés, stb.) – a füstgázt tekintjük. A kutatás a faalapú tüzelés környezeti hatásainak csökkentésére irányul. Egyik alapcél a különböző fafajtából készült pelletek alaptulajdonságai, a tüzeléstechnikai paraméterek, valamint a környezeti terhelések közötti összefüggések keresése. A kétrészes cikksorozat első részében a tüzeléstechnikai vizsgálatoknak alávetett pelletek dimenzióinak és fizikai, mechanikai tulajdonságainak vizsgálata kerül bemutatásra. A kutatás – és a cikksorozat – második részében egy általános pellet tüzelésű kazán segítségével elvégzett tüzeléstechnikai vizsgálat és annak eredményei kerülnek előtérbe különös tekintettel a tüzelés során létrejövő károsanyag-kibocsátás és a pellet tulajdonságainak összefüggéseire.

Kulcsszavak: energetika, pellet, pellet tüzelés, környezeti hatások

Investigation of the environmental impact of wood-based small-scale pellet stokers

Part I.

Determination of the physical, mechanical properties and dimensions of the pellets

Abstract

Diverse types and sizes of dendromass-based calorific units are in operation around the world. They should be considered as sources of different environmental impacts during the firing process. Among many others – (eg. noise, ash, environmental impacts resulting from transportation of raw materials, etc.) – flue gas is considered a typical polluting agent. The research is aimed at decreasing the environmental impact of wood based burning. One of its goal is to find correlations between the basic properties of wood pellets made of different species, the combustion parameters, and the resulting environmental impact. The first part of this two-part article-series shows the analysis of the physical, mechanical properties and dimension of the pellets. In the second part, the completed pyrotechnics examination and its results, especially regarding the relationship between the emission characteristics and the pellet properties. The examination is based on a standard pellet boiler.

Keywords: energetics, pellet, pellet combustion, environmental impact

Bevezetés: a kutatási terület általános bemutatása

A Magyarországon rendelkezésre álló – nem csupán energetikai célú – teljes biomassza-készlet mintegy 350–360 millió tonna, melynek közel harmada folyamatosan, évente újratermelődik (Czupy, 2013). A kérdés az, hogy ebből mennyi az úgynevezett fenntartható módon energetikai célokra kitermelhető mennyiség. Korábbi felmérésekből tisztán látszik, hogy jelenleg Magyarországon a dendromassza alapú energiafelhasználás ~45–50 PJ-ra tehető (jelenleg Magyarország teljes primer energiafelhasználása évente közel 1000 PJ) (Németh, 2013).

Mivel a megújuló energiaforrások részarányát folyamatosan növelni szeretnénk, ezért felvetődik a kérdés, hogy milyen módon lehet mind nagyobb mennyiségben felhasználni a dendromassza alapú forrásainkat.

A faalapú energiaforrások egyes típusainak energetikai hasznosítására racionális és kevésbé racionális megoldások is kínálkoznak. Az ésszerű, gazdaságos, de legfőképpen környezetkímélő és fenntartható megoldásokat kell azonban minden esetben preferálni. Annak meghatározása, hogy mely felhasználási irány (pl.: „biomassza erőmű”, falufűtőmű) tekinthető a fenti szempontok alapján preferálandónak, sokszor társadalmi, (fa)ipari és energetikai viták tárgyát is képezi. A dendromasszából tehát elég változatos méretű és kivitelű berendezésekkel tudunk előállítani hőt (és villamos energiát), ahogy az 1. ábrán is látszik.

Számos kérdés vetődik fel azzal kapcsolatban, hogy az energetikai alapanyagok – például pelletek – esetén milyen energiaráfordítással állítjuk elő az energiatermelő egységek számára befogadható formában az alapanyagot. A fás szárú energetikai alapanyagok esetén az ún. EROEI – energy returned on energy invested (kinyert energia/bevitt energia) – szám általában 3–45 közötti. Ez azonban nagymértékben függ attól, hogy az energiamérlegek készítésénél mit veszünk figyelembe. Egy energiaültetvény esetén a kezdeti termőföld megmunkálásától a kazánhoz történő beszállításig viszonylag egyszerűen fel lehet ezt térképezni (Vágvölgyi és tsai., 2012), egy erdő esetén a több tízéves vágásforduló alatt az ilyesfajta nyomon követés már nehezebb, sokkal pontatlanabb eredményt hoz. Pellettek esetében az EROEI-érték 8–25 közé tehető attól függően, hogy alkalmazni kell-e szárítást vagy sem, és hogy milyen alapanyagunk és technológiánk van (Németh, 2013). Ez az érték megint viszonylagos, hiszen nem számoltunk ebben az esetben azzal, hogy a pellet alapanyagul szolgáló por-forgácsot „elő is kell állítani”. Mivel ez a faipari megmunkálások mellékterméke, ezért a forgácsolás során bevitt energiát az előállított faipari termékhez rendelhetjük. Ha a keletkező melléktermék arányában a rá eső energiafelhasználást is figyelembe vesszük, akkor ez a szám máris 4–6 EROEI-értékre esik vissza. Ha az erdészeti telepítést, gondozást és kitermelést is hozzávennénk, természetesen ez a szám tovább romlana.



1. ábra Faalapú energiahordozók jellemző, leggyakoribb felhasználási területei, javasolt teljesítménytartományok (saját szerkesztés)
Figure 1 The most typical application of wood based energy source, the proposed power range (own editing)

Az Európai Parlament és az Európai Tanács RED-irányelve Magyarország számára 2020-ra – jogilag kötelező módon – minimum 13 százalékban határozta meg a megújuló energiaforrásból előállított energia bruttó végső energiafogyasztásban képviselt részarányát. Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében (NCST) ezzel szemben a magasabb, 14,65% elérését tűzte ki célul 2020-ra.

A jelenlegi adatok alapján (megújuló energiaforrások felhasználásán belül) 80% feletti biomassza részarány legnagyobb részét a dendromassza alapú anyagok teszik ki. A fejlesztés- és klímapolitikáért, valamint kiemelt közszolgáltatásokért felelős államtitkár adatai alapján (Horváth, 2013) jelenleg mintegy 9–9,2% körüli érték közelében vagyunk, ami az NCST-ben elfogadott tervek alapján már a 2016-os szintet üti meg. Ezen adatot kissé beárnyékolja, hogy mindezt úgy érzük el, hogy nagy mennyiségben villamos energiát állítunk elő fa felhasználásával – helytelenül csak „biomasszaként” emlegetve –, köztudottan alacsony (összesített) hatásfokkal (akár 30–35%), korlátozott kogenerációval.

Ennek hatására különböző scenáriók a lehetőséget a decentralizált faalapú energiatermelés kialakítását tekintik alapnak. Ugyanakkor jelenleg Magyarországon egyes becslések alapján közel 600 ezer háztartás (Szilágyi, 2014) alkalmas arra, hogy részben vagy teljes egészében fatüzelésből állítsa elő azt a hőt, amire szüksége van (600 ezer háztartásból mintegy 200 ezerben csak fafűtés van). Arra irányuló összehasonlító kutatás nem létezik, hogy decentralizált erőműveknek és a lakossági tüzeléseknek milyen környezeti hatásai vannak.

Természetesen a jelenlegi centralizált és decentralizált erőművek esetében a kötelező jellegű mérések, vizsgálatok miatt alapadatok rendelkezésre állnak például a füstgázra vonatkozóan, ugyanakkor ez a kisteljesítményű háztartási rendszerekre már nem igaz. A magyar jogi szabályozásban a kisteljesítményű (140 kW_{th} alatti) berendezések esetén nem kell mérni az elsődleges környezeti terhelést okozó tényezőt, a füstgázt. Az ilyen kisteljesítményű berendezések esetében a füstgáz bemérése jó esetben is csak az adott kazántípus forgalomba hozatala előtti minősítési, osztályozási eljárás során egyszer történik meg.

A kétrészes cikksorozatban azon vizsgálatok kezdeti lépései kerülnek bemutatásra, melyek arra irányulnak, hogy a dendromassza alapú – jelen kutatásban a fapelletből történő – energiatermelés miként hat a környezetre, és milyen összefüggések vannak az energetikai célokra előállított alapanyagok és az emissziók között a kisteljesítményű kazánok esetében.

A kutatás kezdetén meg kellett tehát vizsgálni a pellet tulajdonságait, hiszen fontos az energetikai alapanyag ismerete a tüzeléstechnikában is. A pellet tulajdonságai a tüzeléstechnikai paramétereket is nagyban befolyásolhatják, kifejezetten igaz ez a tömörségre és a pellet alapanyagául szolgáló por-forgács halmazok szemcseméretére (Kocsis, Csanády, 2014).

A felhasznált alapanyag tulajdonságai és a vizsgálati módszerek

A bemutatásra kerülő – kutatást indító – vizsgálatokat általános, vegyes összetételű, bükk-tölgy alapú pellet tüzelőanyag segítségével végeztük.

Első lépésében a bükk-tölgy (50-50%) alapú pelletet el kellett készíteni a rendelkezésre álló (NOVA PELLETT N-MICRO típusú pelletáló; maximális teljesítmény 10,5 kW; kapacitás 60–100 kg/h; alkalmazott matrica vastagság 28 mm) pelletálónk segítségével.

Mivel a későbbi – a cikksorozat második részében bemutatásra kerülő – vizsgálatoknál a kazánba beadagolt pellet „mechanikai minőségét” és a fűtőértékét is meg kell adni (melyek jelentősen befolyásolhatják a károsanyag-kibocsátást is) a mérés visszavezethetősége miatt, ezért különböző fizikai, mechanikai vizsgálatok váltak szükségessé.

Mintavétel és a mérések főbb menete

A pelletáló gép működése közben három minta kivételére került sor (az üzemelés kezdeti, közép, valamint végső szakaszában), melyek mintegy 5-5 kg-ot tettek ki. (A pelletálás során kialakuló sűrűdés a matrica hőmérsékletét növeli, ami alapvetően befolyásolja a pellet állékonyságát, hiszen a fában a természetes kötőanyagoknak tekinthető lignin esetén lágyulás figyelhető meg már 80 °C körül is.)

Mindegyik mintából ~1,2 kg-ot el kell különíteni. Először meg kellett határozni a finomhányadot, majd az ezen 1,2 kg-ból elkülönített ~0,5 kg segítségével a mechanikus szilárdságot. Ezt követte az 1,2 kg-os minta maradéka (~0,7 kg) segítségével a méretek (~80–100 gramm mintára), majd a nedvességtartalom (~10 gramm) vizsgálata.

Az 5 kg-os mintából megmaradó mintegy 3,8 kg elegendő volt az ömlesztett sűrűség meghatározására.

A vizsgálatok minden esetben a vonatkozó szabványok – melyek az egyes tulajdonságok vizsgálati módszereinél feltüntetésre kerülnek – alapján történtek a rendelkezésre álló és saját fejlesztésű mérőberendezések segítségével.

Vizsgált tulajdonságok

1. A finomhányad meghatározása („F”)

Egy ISO 3310-2 szabvány alapján készült perforált kivitelű szitát kell használni – az MSZ EN 15210-1 szabvány alapján – a pellet szitálására, a finomhányad (az ún. „morzsalék”) meghatározására.

A körülbelül 1,2 kg tömegű mintából ezen szita segítségével néhány körkörös mozdulattal manuálisan kell eltávolítani a finomhányadot (2. ábra), melyet a következő képlettel tudunk számolni:

$$F = 1 - \frac{m_A}{m_E} \quad [\%] \quad [1]$$

ahol:

F – finomhányad [%]

m_E – minta tömege szitálás előtt [g]

m_A – minta tömege szitálás után [g]

2. A pelletek mechanikai ellenálló képessége („DU”)

A pelletek mechanikai tartósságának meghatározását az MSZ EB 15210-2 szabvány írja le. A mérés a szabvány előírásainak megfelelő saját fejlesztésű berendezéssel történt. A 500 ± 10 g pelletet – melyet előzetesen a 3,15 mm-es perforált kialakítású szitán le kellett szitálni és mérlegelni – betöltjük a 3. ábrán látható pellet tesztelő berendezésbe, majd ezt követően 10 percig 50 ± 2 1/min fordulatszámmal megforgatjuk a mintát. Az igénybevételt követően a szitába töltött pelletet ismét enyhén leszítáljuk, majd visszamérjük a tömegét. A mért két tömeg és



2. ábra Szabványos szita és a szitálás művelete a finomhányad meghatározásához

Figure 2 Standard sieve and the sieving to the determine the fine material amount



3. ábra Mechanikai szilárdságvizsgáló berendezés

Figure 3 Mechanical durability checking equipment

a [2]-es képlet segítségével meghatározzuk a pellet mechanikai ellenálló képességét:

$$D_U = \frac{m'_A}{m'_E} \quad [\%] \quad [2]$$

ahol:

D_U – mechanikus szilárdság [%]

m'_E – 3,15 mm felett pellet tömege igénybevétel előtt (szítálás után) [g]

m'_A – 3,15 mm felett pellet tömege igénybevétel után (szítálás után) [g]

3. A pelletek hosszúsága és átmérője

A pelletek esetén fontos követelmény – az EN 14961-2 felhasználásával készül ENplus ajánlás alapján –, hogy 3,15 és 40 mm között legyen azok közepes hosszúsága. Jelen esetben 6 mm átmérőjű pelletek képezik a kutatás tárgyát, ezek esetében a megengedett eltérés ± 1 mm. A vizsgálatokat 80–100 gramm mintában található összes pelleten el kell végezni, egyszerű tolómérő segítségével. A mérési bizonytalanság meghatározásának kiemelkedő fontossága van a hosszúság mérése során, hiszen a középhosszúság mérési helyének szubjektív meghatározása, valamint a mérésből adódó egyéb véletlen mérési hibák jelentős abszolút hibát eredményezhetnek. Mivel a hosszúság mérése esetén a mérést végző személyen múlik, hogy a pellet valós „közepes” hosszának mérését milyen módon találja el, ezért egyetlen pelleten végeztünk el 30 mérést (ezzel tehát azt határoztuk meg, hogy egy mérő személy egymás után ugyanazon mértet milyen hibával tudja megmérni, a mérést reprodukálni). Azt, hogy a mérő személy a maximális és minimális hosszban belül szemre milyen hibával határozza meg az ideálisnak tekintett közepes hosszúságot, szintén 30 méréssel határozható meg, itt azonban 30 különböző pelleten kellett a méréseket elvégezni. A különböző pelletek minimális, maximális és – a mérő személyzet által ideálisnak tekintett – közepes hosszúság mérése alapján (4. ábra) került meghatározásra ezen véletlen mérési hiba meghatározása. A fenti mérések alapján számított összesített hiba $\pm 1,66$ mm lett (belevéve a műszer 0,02 mm-es hibáját is). Ennek jelentősége abban rejlik, hogy megmért pellet típusok esetén nem célszerű egyszerűen elfogadni az átlagként kapott eredményeket, hanem szükséges a mérési hibával együtt megadni az átlagos hosszúsági értékeket (pl. ha az átlaghossz 25 mm, helyesen így kell megadni: $25 \pm 1,66$ mm).

Ugyan egy szabvány sem írja elő annak szükségességét, hogy a mechanikai vizsgálatot követően a hossz-méretet ismét lemérjük és összehasonlítsuk a kiinduló értékekkel, ennek ellenére ez is a kutatás részét képezte.

4. A nedvességtartalom meghatározása („M”)

A szilárd biomassza alapú tüzelőanyagok nedvességtartalmának meghatározását az MSZ EN 14774 szabványsorozat írja le. A nedvességtartalom meghatározására egy, a pellet iparban is „járatos” automatikus nedvességmérő – BOECO SMO 01 típusú – megfelelő pontossággal nyújt információt részünkre. Ez a berendezés, ugyan a szabványban előírtnál kisebb mennyiségű (~10 gramm) minta nedvességtartalmának meghatározása szolgál, de korábbi mérési tapasztalatok alapján ez a módszer is megfelelőnek bizonyult. Az esetleges hibák kiküszöbölése végett minden mérést három mintán el kell végezni.

Mérés elve: az 5. ábrán látható műszer mintatartóira mintát helyezünk, majd 105 °C-on szárítjuk tömegállandóságig egy, a műszerbe épített fűtőszál segítségével. A szárítás előtti és utáni tömegértékek segítségével közvetlenül meghatározhatjuk a pellet nedvességtartalmát.



4. ábra A hosszúság mérése során rejlő bizonytalanság illusztrálása

Figure 4 Uncertainty of length measurement

5. Térfogatsűrűség (ún. telítési tömörség, „BD”)

Az MSZ EN 15103 alapján egy mérlegre és egy szabványos 5 literes tartályra van szükség a vizsgálathoz. A [3] képlet alapján ezt a paramétert a mért értékek figyelembevételével ki lehet számolni:

$$BD_{ar} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [3]$$

ahol:

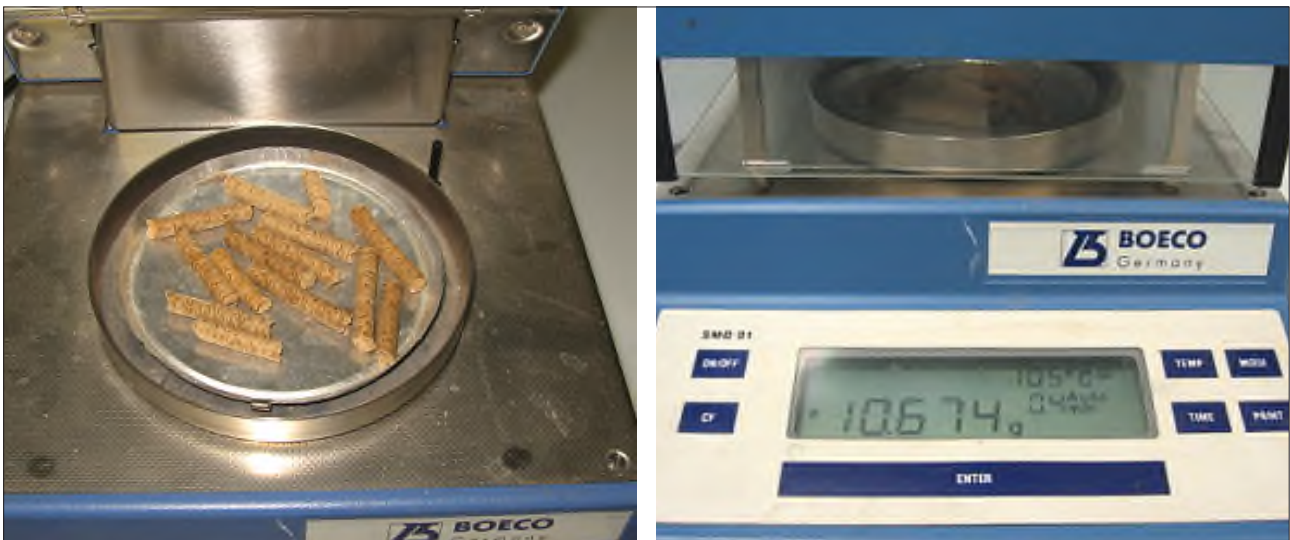
- BD_{ar} – az átvett minta (felhasználási nedvességtartalmú) térfogatsűrűsége $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- m_1 – a tartály tömege [kg]
- m_2 – a minta és a tartály együttes tömege („telített” tartály tömege) [kg]
- V – tartály térfogata [m^3]

A térfogatsűrűséget száraz alanyagra is meg lehet határozni az alábbi [4] képlettel:

$$BD_d = BD_{ar} \cdot \frac{(100 - M_{ar})}{100} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [4]$$

ahol:

- BD_d – az átvett minta (száraz) térfogatsűrűsége $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- M_{ar} – az átvett minta nedvességtartalma [%]



5. ábra BOECO SMO 01 típusú automatikus nedvességmérő
Figure 5 Automatic moisture measurer type BOECO SMO 01



6. ábra Térfogatsűrűség meghatározása
Figure 6 Determination of bulk density

6. Az égéshő meghatározása

Égéshőnek nevezzük azt a hőmennyiséget, mely az egységnyi tüzelőanyag tökéletes égésekor felszabadul, az alábbi feltételek mellett:

- a tüzelőanyag és a levegő hőmérséklete égetés előtt és után is 298 K legyen,
- a tüzelőanyag széntartalma szén-dioxiddá, kén tartalma kén-dioxiddá égjen el,
- a tüzelőanyag és a levegő nedvességtartalma, valamint a hidrogén elégetéséből származó víz az elégetés után 298 K-en cseppfolyós halmazállapotú.

A fűtőérték fogalma ezen utolsó gondolatjelben megfogalmazottban különbözik az égéshőtől, hiszen az elégetéskor a tüzelőanyagból eltávozó és a hidrogén elégetéséből keletkező víz párolgási hőjével csökkentett égéshőt nevezünk fűtőértéknek. (A tökéletes égés után a víz gőz halmazállapotú.)

A vizsgálatot az MSZ EN 14918 alapján a Faanyagtudományi Intézet munkatársai végezték el, egy IKA 2000C típusú bombakaloriméter segítségével. A vizsgálat során a műszer segítségével közvetlenül az égéshő értékét kapjuk meg. A fűtőérték számítását ezt követően az [5] képlet segítségével meg lehet határozni.

$$\text{Fűtőérték}(F) = \frac{\dot{E} - \left(\frac{2447 \cdot (U + 9 \cdot H)}{100} \right)}{1 + \frac{U}{100}} \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad [5]$$

ahol:

- \dot{E} – vizsgált anyag égéshője (mért érték)
- U – a fa bruttó nedvességtartalma [m/m %]
- H – a fa hidrogéntartalma [~6 m/m %]

Mérési eredmények, összegzés

A megismert mérési módszerek alapján bevizsgálásra került a későbbi tüzeléstechnikai vizsgálatnak alávetett alapanyag, melynek eredményei az 1. táblázatban láthatók.

Általánosságban elmondható (az 1. és 2. táblázat adatait összehasonlítva), hogy a pellet megfelelő, hiszen jó minőségű – ENplus szerinti A1-es besorolású – pelletről 3,15 és 40 mm közötti hossz, 6 ± 1 mm átmérő, 10%-os nedvességtartalom és 1% finomhányad alatt, valamint 97,5 % mechanikus szilárdság és 600 kg/m^3 ömlesztett sűrűség feletti adatokról beszélhetünk.

Az 1. táblázat alapján látható, hogy a mechanikai igénybevétel előtt a közepes hosszúság $17,36 \pm 1,66$ mm (a vizsgált pelletek a 40 mm-es hosszúságot nem haladták meg). A mechanikai ellenállóképesség-vizsgálat utáni pelletek esetében ez az érték már csak $13,02 \pm 1,66$ mm volt. Láthatjuk, hogy a mérések is visszaigazolják azt, ami már szemrevételezés során is tapasztalható volt. Az egyes pelletek rövidültek, illetve eltörték, ami hatással lehet a pellet égetésére is, hiszen ha kisebb méretű pelletek kerülnek a tűztérbe – és a finomhányad is megnövekszik – ez módosíthatja a füstgázösszetételt, és a távozó szilárd anyagok mennyiségét is. Ez elsődlegesen annak köszönhető, hogy a fa égetéséhez betáplált levegő a kisebb részecskéket magával is ragadhatja anélkül, hogy azok megfelelő mértékben elégték volna (különösen akkor, ha túlzott mennyiségű levegőbetáplálás történik, mely akár egy rosszabb beállítás miatt, vagy tűztéri problémák miatt is adódhat). Nem mellékes az sem, hogy a pelletégetésre használatos égőfejek – kialakításukból fakadóan – nem tökéletesen alkalmasak a kisebb morzsalékok tökéletes elégetésére.

1. táblázat A vizsgált pellet mechanikai tulajdonságai

Table 1 Mechanical durability of the examined pellets

Pellet tulajdonságai	Tölgy-bükk keményfa pellet			
	1. minta	2. minta	3. minta	Átlag
Átlagos hosszúság [mm]	16,58	19,19	16,31	17,36
Átlagos átmérő [mm]	6,15	6,14	6,36	6,22
Sűrűség [kg/m^3]	1061	1056	1045	1054
„F” Finomhányad [%]	0,1	0,2	0,2	0,2
„DU” Mechanikai szilárdság [%]	97,8	97,9	97,8	97,8
„BD _{ar} ” Ömlesztett sűrűség [kg/m^3]	607,8	592,4	608,8	603,0
„M” Nedvességtartalom [%]	7,34	7,40	7,32	7,35

A jelen vizsgálat tárgyát képező pellet égéshője 19,61 MJ/kg volt, ebből vontuk le az [5] képlet figyelembevételével a hidrogén elégéséből keletkező víz párolgási hőjét, így ez eredményezi a pellet 0%-os nedvességtartalomhoz tartozó fűtőértékét (a bombakaloriméteres vizsgálat előtt a pelletet abszolút szárazra szárítják), mely 18,28 MJ/kg-ra adódott.

Szintén az [5] képlet segítségével azt is kiszámíthatjuk, hogy az átlagosan bruttó 7,35% nedvességtartalmú pellet valós, felhasználási (ún. szállítási) fűtőértéke 16,87 MJ/kg.

2. táblázat Pelletek általános előírásainak – a kísérletben vizsgált tulajdonságoknak megfelelő – kivonata (A nem ipari felhasználásra szánt EN 14961-2 norma szerinti fapellet részletezése; ENplus.)

Figure 2 Abstract of general directive of wood pellets (From EN 14961-2 standard „Wood pellets for non-industrial use detail”; ENplus)

Osztály /Elemzési módszer	Egység	A1	A2	B
Eredet és forrás EN 14961-1		1.1.3 Rönkfá	1.1.1 Gyökérmentes egész fa	1.1 Erdei- és ültetvényfa valamint egyéb frissen vágott fa
		1.2.1 Nem vegykezelt faipari hulladék	1.1.3 Rönkfá	1.2 Melléktermék és faipari hulladék
			1.1.4 Fakitermelési hulladék	1.3 Használt fa
			1.1.6 Kéreg	
			1.2.1 Nem vegykezelt fahulladék	
Átmérő, D ^a és hossz L ^b , prEN16127	mm	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40
		D08, 8 ± 1 3,15 ≤ L ≤ 40	D08, 8 ± 1 3,15 ≤ L ≤ 40	D08, 8 ± 1 3,15 ≤ L ≤ 40
Nedvességtartalom, M, EN 14774-1, EN 14774-2	Szállítási állapotban w-% nyers állapotban számításba véve	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
Mechanikus szilárdság, DU, EN 15210-1	szállítási állapotban w-%	DU97.5 ≥ 97,5	DU97.5 ≥ 97,5	DU96.5 ≥ 96,5
Finomhányad az áruátadást megelőző legutolsó ponton, ill. kisebb (20 kg-ig) és nagyobb zsákos áru érkezésekor (a becsomagolásnál vagy a végfelhasználóknak történő kiszállításnál), F, prEN 15210-1	szállítási állapotban w-%	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0
Fűtőérték, Q, EN 14918	szállítási állapotban, MJ/kg vagy kWh/kg	Q16.5, 16,5 ≤ Q ≤ 19 vagy Q4.6, 4,6 ≤ Q ≤ 5,3	Q16.3, 16,3 ≤ Q ≤ 19 vagy Q4.5, 4,5 ≤ Q ≤ 5,3	Q16.0, 16,0 ≤ Q ≤ 19 vagy Q4.4, 4,4 ≤ Q ≤ 5,3
Töltési tömörség, BD, EN 15103	kg/m ³	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600

^a A pellet tényleges átmérőosztályát (D06, D08) meg kell adni.

^b A pelletmennyiség maximum 1 w%-a lehet 40 mm-nél hosszabb, max. hossz < 45 mm.

Megjegyzés: A színnel kiemelt cellák a vizsgált pelletre érvényes besorolást mutatják.

Az „Európai Pellet Tanács: Fűtés céljára szolgáló fa pellet tanúsítási eljárásának kézikönyve” alapján a fenti vizsgálatok esetében a vizsgált pellet tehát A1 besorolású (ENplus, ld. 2. táblázat).

Bár most a pelletnek csak azok a tulajdonságai kerültek bemutatásra, melyek a későbbi tüzeléstechnikai kísérlet során felhasználásra kerültek, de természetesen más forrásból, külső – kereskedelembe megvásárolható – pelletek tulajdonságait is megvizsgáltuk már. E vizsgálatok eredményeként általánosságban elmondható, hogy a Magyarországon megvásárolható pelletek – kizárólag a korábban bemutatott tulajdonságokat figyelembe véve – szinte teljes egészében az A1 besorolás alá esnek.

A kutatás jelenlegi, kezdeti időszakában a faalapú pelletekkel foglalkozunk, de a kutatás későbbi lépéseiben természetesen majd érdekes kérdést vet fel a lágyszárúakból készült pelletek ilyen irányú vizsgálata. A lágyszárúakból és mezőgazdasági melléktermékekből (pl.: kukoricacsutka) készült pelletek fűtőértéke akár el is érheti a fa fűtőértékét (pl.: Richter és tsai, 2014 alapján a nád pellet abszolút száraz nedvességtartalomra vonatkoztatott fűtőértéke 18,61–18,73 MJ/kg között alakul), de hamutartalmuk jóval magasabb, sokszor a 10%-os értéket is átlépi. Ugyanakkor nád esetében például a vizsgált átlag ehhez képest alacsony, 3,80% (Richter és tsai., 2014), de ez is jóval magasabb, mint a fánál megszokott 1%, vagy az alatti érték. A lágyszárúakban található nagy mennyiségű szilíciumtartalom tüzeléstechnikai kihívások elé állítja a tüzelőberendezések gyártóit és azok felhasználóit. Ezeknek a lágyszárú anyagok hamujának olvadáspontja akár 800 °C alatti is lehet, mely a kazán belsőjében jelentős lerakódásokat („üvegesedéseket”) eredményez. (Természetesen a klór szintén nagyságrenddel nagyobb mennyiségben van jelen, és a káliummal reakcióba lépve a hőcserélők felületén kondenzálódik.) Ezek a problémák is alátámasztják, hogy a későbbiekben nem csak a faalapú pelletekkel kell a kutatásokat folytatni.

Természetesen a bükk-tölgy alapú pellet mellett más fafajból készült pelleteket is célszerű lesz a későbbiekben vizsgálat alá vonni, hiszen ugyanazon berendezésben, azonos paraméterek mellett történő tüzelés esetén nagyon jó összehasonlításokat lehet majd elvégezni.

A cikksorozat második – befejező – részében kerül bemutatásra a füstgázelemzéssel összefüggő kutatás és annak eredménye, valamint egy, a témát érintő háztartási méretű pelletkazán decentralizált fűtőművel történő rövid összehasonlító elemzése is.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. Konvergencia-Magyar Zoltán Posztdoktori Ösztöndíj – 2013 (A2-MZPD-13)
Pályázati azonosító: A2-MZPD-13-0017

Irodalomjegyzék:

- Czupy I. (2013) Szilárd biomassza feldolgozása, energetikai célú hasznosítása. Értékkálló Aranykorona, Országos Mezőgazdasági Szaklap, 12(8):14-15, HU ISSN 1586-9652
- European Pellet Council (2011) Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes (Based on EN 14961-2) 3. 5. 2011
- Horváth A. (2013) Merre halad idén az állami energetika? c. előadás, Agripellet Energy Fórum; Bükkfürdő
- Kocsis Z., Csanády E. (2014) A nem-lineáris rheológia alkalmazása a faalapú anyagok pelletálásával, tömörítésével összefüggésben. I. kísérleti rész. Faipar 62. évf., DOI: 10.14602/WoodScience-HUN_2014_1, ISSN: 0014-6897
- Németh G., Varga M., Tóth B. (2013) Dendromassza alapú energiaforrások jelentősége és hasznosítása Magyarországon. Energiagazdálkodás 54(6):14-17, ISSN 0021-0757
- Richter Z., Vityi A., Magoss E. (2014) Közönséges nád (*Phragmites australis*) pelletálási technológiájának vizsgálata – I. rész. Faipar (megjelenés alatt)
- Sjjak Van Loo, Jaap Koppenjan (2008) Biomass Combustion & Co-firing. Earthscan UK, ISBN: 978-1-84407-249-1
- Szilágyi Zs. (2014) A háztartások földgázfogyasztása c. előadás. ENERGOexpo, Debrecen
- Vágvölgyi A., I. Czupy, G. Kovács, B. Heil, B. Horváth, D. Szalay (2012) The mechanical-technological modelling and the expected yield of wood energy plantation. Hungarian Agricultural Engineering 24: 53-57, HU ISSN 0864-7410

A faépítészet történeti emlékei Sopronban

A recenzió szerzője: Prof. emer. Winkler Gábor¹

¹Ybl Miklós-díjas építész, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, az ICOMOS (Párizs) tiszteletbeli tagja

Kapcsolat: winklerg@kabelnet.hu

A faipar műszaki kérdéseit tárgyaló hazai és nemzetközi szakirodalom szembetűnően gazdag. A faépítészet kialakulásának történetével, művészet- és stílusformáló jelentőségével eddig viszonylag kevesebben foglalkoztak. Egyfajta határterülete ez a technikatörténetnek és az építészet- és művészet-történetnek. Géczy Nóra most megjelent, pompás könyve a faépítészet történetéről szól: Sopron építészettörténetének egy látszatra rövid szakaszát, a 19. századi második felének történetét tárgyalja. Pontosabban, a szerző a 19. század derekától az első világháború kitöréséig kíséri figyelemmel egyik legnyugatibb városunk faépítészetének fejlődését.

Sopron a téma szempontjából különleges helyzetben van. Míg máshol a fából készült épületek legnagyobb része elpusztult, addig városunkban szerencsés módon máig idegenforgalmi nevezetességnek számítanak a történeti faépületek, közöttük is mindenekelőtt a faverandás lövéreki villák együttese. Ezt ismerte fel a Nyugat-magyarországi Egyetem Alkalmazott Művészeti Intézetének egykori építőművész hallgatója, Géczy Nóra, aki doktori munkájának témájaként Sopron 19. századi faépítészetét választotta. Doktori éveit Sopronban, az ottani egyetem Építéstani Tanszékén töltötte. Ma a Széchenyi István Egyetem Műszaki Tudományi Kar Épülettervezési Tanszékének docense, jó nevű építész-belsőépítész. Dolgozatát 2005-ben védte meg.

A könyv címe egyértelműen azt sugallja, hogy az írás szigorúan szakmai ismereteket közvetít és a soproni faipar különböző területeire, a fafeldolgozás és a fával való építés sajátos világába kalauzol el minket. Valóban mindezt megteszi, még hozzá nagyon szakszerűen és ugyanakkor igen élvezetesen. Gondolatban elvezet minket a soproni „Fapiacra”, ahol osztrák, tót és oláh fakereskedők kínálják áruikat és versenyeznek a helyi fakitermelőkkel. Schiller János Pócsi-dombi asztalosműhelyében szinte érezzük a friss forgács illatát, halljuk a „nagyobb fordulatszámmal járatható” karos kanyarító fűrészgép sivítését, és megcsodálhatjuk, ahogy az ügyes masina vékony deszkalapból kivágott, historizáló díszek sűrű szövetét varázsolja elénk. Műszaki leírásai és a közölt egykor használt gépek, technológiai berendezések ismerete a faipari mérnökök számára is érdekes olvasmány lehet.

A könyv azonban a műszaki ismereteken túl építészettörténeti szempontból is megérdemli a figyelmet. A vizsgált korszak, a 19. század minden téren megváltoztatta az építészet összképét. A mesterek már nem csupán saját elképzeléseik alapján dolgoztak: a soproni iparosok kezében is ott voltak a legújabb német, angol és tengerentúli „mintakönyvek”. A könyvek bőségesen kínálták az építészeti ötleteket, ugyanakkor számtalan műszaki megoldást, részletrajzot is tartalmaztak, melyeket a gyakorlott kezű soproni ácsok és asztalosok sikerrel alkalmaztak.



Géczy Nóra: Faépítészet Sopronban 1850-1914 között (Kiadó: Arch Deco Stúdió 2014, 295 oldal, 217 ábra, 88 egész oldalas tábla, ISBN 978-963-08-8415-0)

Ez időben apróra zsugorodott a világ: kiadványok, folyóiratok és mintalapok formájában, kontinenseket átszelő vasútvonalakon, óceánjárók fedélzetén szállították a műszaki tudást, technológiát és a formálás újabb és újabb ötleteit terjesztették szerte a világban. Mindez egyfajta szakmai és művészi „globalizációt” jelzett: az építészet nyelve a 19. század során vált igazából nemzetközivé. Ezért találkozhatunk Észak-Amerikától Ausztráliáig, vagy itthon Tátrafüredtől Balatonfüredig a soproni faházakhoz megtévesztően hasonló villákkal, vidéki házakkal, gazdasági épületekkel. És a részletmegoldásokban is sok a hasonlóság – ezt Géczy Nóra könyvének ábrái ékesen bizonyítják.

A szerző könyvének gazdag kép- és rajzanyagából azonban két másik fontos jelenség is kiviláglik. Az, hogy a helyi táj, az itt található faanyagok fajtái és az alkotó mesterek tehetsége és hagyományszeretete Sopronban is átformálta és fokozatosan helyivé tette a kor divatos faépítészetét. A másik pedig, hogy hiába volt e kor fő építészeti irányzata a „historizálás”, a történeti stílusok továbbfejlesztése, az egyszer már sikert aratott formák újbóli alkalmazása. A fa, mint építőanyag, mindig csábított az újírtásra, a megszokottól való eltérésre, a történeti formák átértelmezésére, vagy éppen elhanyagolására. A könyv ezt is, azt is okos magyarázattal és szép illusztrációk egész sorával bizonyítja.

A kiadványt olvasva azonban nem kizárólag a szűken vett szakmai témával kapcsolatos többlettudásnak jutottunk birtokába – a szerző írása ugyanis ennél sokkal többet kínál. A könyv Sopron városias fejlődésének meghatározó, fontos korszakába, a 19. század második felének életébe kínál betekintést. Olvashatunk a kor történetéről, képet kaphatunk a település gazdaságának alakulásáról, szóba kerül a város polgárainak életvitele, felsejlik a korszak különös hangulata, sajátos „életérzése”. A „klímaterápia” elterjedése például a magukat féltő városlakók egészségügyi gondjairól is szól. Mindehhez a háttérrel sok esetben éppen a fából épült házak biztosították.

A kiadvány olvasását igazából az teszi izgalmassá, hogy a vizsgált korba gondosan beleágyazva ismerkedhetünk meg az újabb és újabb szakmai eredményekkel: a fával való építés sokféle csínja-bínja a társadalom- és ipartörténetbe illesztve tárul fel előttünk. A történések háttereként pedig a táj, Sopron gazdag természetes környezete szolgál, a faépítés jellegzetes helyei, a Löverek északra néző, hűvös-nedves lankái, a Virág völgy egykori virágoktól illatozó világa. De ott vannak a faházak a vízpartokon, az Ikva- és Rák-patak völgyében, a Tómalom és a Fertő víztükre mellett is. A szerző a fa használatát, a fával való építés elterjedését jól értelmezhető térképek segítségével mutatja be, térben és időben pontosan elhelyezve azokat.

A közel háromszáz oldalas mű alapját a szerző majdnem egy évtizedes, kitartó gyűjtőmunkája alkotta: levéltári kutatások, a témával kapcsolatos források felderítése és a helyszínek bejárása. Utóbbi tapasztalataiból döbbenünk rá, hogy a gondos karbantartás és törődés híján mennyire törekeny sorsú, rövid életű a fa. Az egykor szép számban épült, takaros házak, villák, kilátók és pavilonok közül ma már alig lelhetünk fel egyet-egyét. Van faház, melyet később szilárd anyagból építettek újra. Elpusztultak vagy a pusztulás határán állnak a korszak „kötött rendeltetésű” épületei, a fával áthidalt ipari csarnokok, az egykori villamosremíz, az uszodák kabinsorai, fahidak és sportpályák lelátói.

A fával való építkezés persze gyors ütemű, így alkalmat ad a „rögtönzésre” is. Tudott, hogy nem minden faépítményt szántak örök életűnek. A szerző különösen gondosan foglalkozik könyvében az ideiglenes, „efemer” épületekkel. E témában kevesen ismerik ki magukat jobban, mint ő – érdemes e fejezetekre nagyon odafigyelni. Rövid életűek voltak ugyanis a császár számára emelt diadalívek, királyi várók, esőbeállók vagy az Erzsébet-kert nagyméretű, díszes kiállítási épületei. Kialakításukról, részletmegoldásaikról mind- eddig csak a levéltárakban őrzött tervlapok és megsárgult fényképek adtak tájékoztatást.

A fa kilátótornyok közül sem maradt fenn egy sem, talán csak a könnyed „születli” – kerti házacska, lugas – egy-egy példáját leljük fel még valahol, a lövéreki kertek eldugott zugaiban. Ezzel szemben örömmel tudhatjuk meg, hogy Sopronban az utcán álló „zöld villamosok” – utcai illemhelyek – közül kettőnek is megkegyelmezték: a Kossuth Lajos utca fordulójában és az Erzsébet-kertben jó egy évszázad óta teljesítik áldásos feladatukat. (A két apró épület helyi műemléki „elővédettség” alatt áll.)

Szembetűnő a kiadvány gazdagsága eddig soha nem publikált ábrákban. A szerző remek grafikus is: rajzaiban számtalan, egyformának tűnő, részleteiben mégis gazdag épületszerkezetet vázol fel és rendez didaktikus ábrásorba. Képes táblázatai között igazi újdonságnak számítanak az egyes épületszerkezetek és építészeti motívumok, párkányok, szarufa-végződés, nyíláskeretezések kialakításának gondosan összeál-

lított tipológiai összefoglalói. Mint említettük, a soproni Lövérak villáinak kialakítása egyfajta helyi „turisztikai nevezetesség”: szerencsére még ma is találunk elfogadható állapotban egy- és kétemeletes, szimpla és dupla verandát, fa-üveg zárterkélyeket.

Géczy Nóra kiadványának különös érdeme a téma gazdag forrásanyagának lelkiismeretes feltérképezése. Kiemelem a szerző magas etikáját, ahogy munkájának forrásait kezeli és közreadja. (Sajnos, ez nem minden mai történetíróra jellemző.) A levéltárak kutatásának eredményeit gondosan az olvasó elé tárja és megadja a levéltári jelzetek pontos listáját is. A forráshelyek, fotók és tervek készítőinek megjelölésével sem marad adós. Meglepő hatalmas irodalmi tájékozottsága és a már felszínre került eredmények korrekt dokumentálása. Biztosra vesszük, hogy a kiadvány a jövő kutatóinak évtizedek múlva is nélkülözhetetlen és megbízható forrása lesz.

A könyvet lapozva egy ma már álomvilágnak tűnő, egykori Sopron hiteles képe bontakozik ki az olvasó szeme előtt. De a kihalófélben lévő szakmák fogásainak akkurátus rögzítése, munkamódszereinek leírása is fontos dokumentum a jövő számára. Mindez az építészeti örökség védőinek is biztos tudásanyagot ad, hiteles háttérrel biztosít a szakszerű és pontos helyreállításokhoz, az emlékek eredeti formájában való megőrzéséhez.

Szakma- és építészettörténet, gazdaság- és társadalomrajz: mesevilág vagy éppen kiábrándító valóság? Faipari szakembereinknek és a fa szerelmeseinek egyformán jó lelkiismerettel ajánlom e nagyszerű könyv tanulmányozását.
