



## Tudományos tartalom:

A zselnicemeggy ( <i>Prunus padus</i> ) anatómiai és fizikai sajátosságai	...5
Parabolikus napkollektor alkalmaz- hatóságának lehetőségei technoló- giai hő előállítására a faiparban	...10
Fotoanalitikus módszerek hasz- nálata a fafeldolgozás területén	...15
Biomassza alapú kapcsolt energia előállításának lehetőségei faipari üzemknél	...20
Fa- és agripelletek tüzeléstechni- kai tulajdonságaival összefüggő kutatások alapjai	...28

## Scientific content:

Anatomical and physical characteristics of Hackberry ( <i>Prunus padus</i> )	...5
Utilization of parabolic solar collector for technology heat production in wood industry	...10
Photoanalytical methods used in wood processing	...15
Biomass based coupled energy production possibilities in wood industry	...20
The basics of research related to firing properties of wood pellets and agri-pellets	...28



## A kiválóság a legjobb esélyünk

*Dr. Bejő László, oktatási dékánhelyettes, NymE Faipari Mérnöki Kar*

Az elmúlt időszakban viharos sebességgel követték egymást a felsőoktatás átalakításával kapcsolatos döntések. A jelenlegi oktatáspolitikai álláspontja szerint – melyben kiemelten támogatott a műszaki és az informatikai terület – a Faipari Mérnöki Kar regionálisan és országosan fontos képzéseket folytat. A kar tisztában van a tehetséggondozás és a minőségi képzés szükségességével, emellett pedig fontos küldetésének tekinti, hogy a változó feltételek, a sok bizonytalanság között biztos pontként töltsen be a szerepét, és szolgálja – más területek mellett – a faipari felsőoktatást, kielégítse a faipari mérnökök iránti igényt az egész országban.

Megbízható, kiváló, az iparban is jól használható szakemberek képzésére, ehhez pedig jó képességű, szorgalmas hallgatókra van szükség. Ennek érdekében a kar munkatársai nagyszabású kezdeményezésbe fogtak, amelynek célja elsősorban a kiváló hallgatók megtalálása és támogatása a tanulmányaik kezdetén. A vállalati, alapítványi és önkormányzati összefogással megvalósuló program célja ösztöndíj alapítása a kiemelkedő felvételi eredménnyel rendelkező hallgatók számára, amellyel elősegíthetjük, hogy ezek a hallgatók kiegyensúlyozott, biztos anyagi háttér mellett a lehető legtöbbet tudjanak profitálni a tanulmányaikból.

Az ösztöndíj a tanulmányok első évére szól. Ezt követően – amennyiben a hallgatók továbbra is kiemelkedő teljesítményt nyújtanak – a magas összegű tanulmányi ösztöndíj mellett köztársasági ösztöndíjra, illetve kiemelt egyetemi ösztöndíjra is pályázhatnak. E kiemelkedő hallgatóknak lesz lehetőségük az őket támogató ipari, szakmai partnerek megismerésére is, akikkel várhatóan szorosabb együttműködést is kialakíthatnak (pl. gyakornoki program vagy az egyetemi oktatást ipari tapasztalatokkal ötvöző, ún. duális képzés keretében) a további tanulmányok folyamán.

A faipari mérnökök, illetve a fával is foglalkozó ipari termék- és formatervező mérnökök számára alapított **Kiválóság a faipari felsőoktatásban** ösztöndíjat a Faipari Egyetemi Kutatásért Alapítvány támogatásával sikerült megalapítani. Reméljük, minél több hazai szakember és vállalkozás érzi szívügyének a jól felkészült, kiváló faipari mérnökök képzését, és támogatja majd ezt a kezdeményezést. Amennyiben Ön, vagy cége szívesen hozzájárulna a kezdeményezéshez, megteheti ezt a Faipari Egyetemi Kutatásért Alapítványon keresztül, vagy közvetlenül is felveheti a kapcsolatot a Faipari Mérnöki Kar vezetőivel. Az érdeklődők bővebb információt a [www.fmk.nyme.hu](http://www.fmk.nyme.hu) honlapon találhatnak, vagy közvetlenül Dr. Bejő László oktatási dékánhelyettestől kérhetnek (06 99 518 386, [lbejo@fmk.nyme.hu](mailto:lbejo@fmk.nyme.hu)).



## **Prológus Prologue**

A kiválóság a legjobb esélyünk » *Dr. Bejő L.* « ... 3

## **Tudomány Science**

A zselnicemeggy (*Prunus padus*) anatómiai és fizikai sajátosságai » *Bak M. – Börcsök Z. – Molnár S.* «  
Anatomical and physical characteristics of hackberry (*Prunus padus*) » *M. Bak – Z. Börcsök – S. Molnár* « ... 5

Parabolikus napkollektor alkalmazhatóságának lehetőségei technológiai hő előállítására a faiparban  
» *Csitári Cs. – Németh G.* «  
Utilization of parabolic solar collector for technology heat production in wood industry  
» *Cs. Csitári – G. Németh* « ... 10

Fotoanalitikus módszerek használata a feldolgozás területén » *Boros J. – Edelényi M. – Pásztor Z.* «  
Photoanalytical methods used in wood processing » *J. Boros – M. Edelényi – Z. Pásztor* « ... 15

Biomassza alapú kapcsolt energia előállításának lehetőségei faipari üzemeknél » *Borsos G. – Kocsis Z.* «  
Biomass based coupled energy production possibilities in wood industry » *Borsos G. – Z. Kocsis* « ... 20

Fa- és agripelletek tüzeléstechnikai tulajdonságaival összefüggő kutatások alapjai » *Konrád K. – Németh G.* «  
The basics of research related to firing properties of wood pellets and agri-pellets » *K. Konrád – G. Németh* « ... 28

## **Élet Life**

Talentum program keretében megjelenő Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola új tankönyvek és jegyzetek » *Horváthné Hozzpodár K.* « ... 35

Talentum – támogatói oldal ... 37

## **Szerkesztői oldal Editorial**

... 38

## A zselnicemeggy (*Prunus padus*) anatómiai és fizikai sajátosságai\*

BAK Miklós<sup>1</sup>, BÖRCSÖK Zoltán<sup>2</sup>, MOLNÁR Sándor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE FMK Faanyagtudományi Intézet

<sup>2</sup> NymE FMK Innovációs Központ

### Kivonat

A szilvafélék alcsaládjába tartozó fajok közül elsősorban a madárcezesznye (*Cerasus avium*) faipari felhasználásának van jelentősége napjainkban, emellett azonban figyelmet érdemel a hasonlóan esztétikus megjelenésű és tulajdonságú faanyagot szolgáltató zselnicemeggy (*Prunus padus*) is. Bár kisebb termete miatt felhasználása korlátozott, értékes faanyagról lévén szó, nem szabad mellőzni a feldolgozását. Ennek során azonban figyelembe kell venni, hogy a zselnicemeggy fizikai tulajdonságai némileg eltérnek a madárcezesznyétől.

**Kulcsszavak:** év fája 2012, anatómia, fizikai és mechanikai tulajdonságok

## Anatomical and physical characteristics of hackberry (*Prunus padus*)

### Abstract

Among the species of the prunoideae subfamily bird cherry (*Cerasus avium*) is of primary importance in wood industry nowadays, however, hackberry (*Prunus padus*) deserves attention because of its similar aesthetic value and physical-mechanical properties, too. Although its utilisation is rather limited because of its smaller stature, the processing of this high value wood material should not be neglected. However, during the processing it has to be taken into consideration that the physical properties of hackberry slightly differ from that of bird cherry.

**Key words:** tree of 2012, anatomy, physical and mechanical properties

### Bevezetés

Aszakmai kuratórium 2012 évben a zselnicemeggyet (*Prunus padus*) jelölte az év fajaként. A hegyvidéki és nedves termőhelyeken, valamint Észak-Európában gyakori, de hazánkban is előforduló fafajnak a faanyagtudományi feltárása ez idáig nem történt meg, így e munka keretében komplex faanatómiai és fafizikai vizsgálatsorozatot végeztünk.

A zselnicemeggy külső morfológiai és erdészeti sajátosságait számos szakirodalom feldolgozta (Fekete és Blattny 1913; Gencsi és Vancsura 1997; Bartha 1999). A fafaj elsősorban a hegyvidéken és Euró-

pa északi tájain elterjedt, a májusfának is nevezett fát a skandináv országokban a tavasz hírnökének is tekintik. A faanyag anatómiai tulajdonságaira vonatkozóan Greguss (1945) és Schoch et al. (2004) végeztek értékes fénymikroszkópos vizsgálatokat. A faanyag fizikai-mechanikai jellemzőire szakirodalmi utalást nem találtunk. Gyakorlati tapasztalatok igazolják, hogy a meggyek fája jól hajlítható és szívós (pl. meggyfa botok). A madárcezesznyére vonatkozóan szélesebb körű a rendelkezésre álló szakirodalom (Wagenführ 1996; Molnár és Bariska 2002, Molnár et al. 2007). Érdemes megjegyezni, hogy az

\*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.



összehasonlításra figyelembe vett, közismert márcseresznyére nem találtunk ütő-hajlító szilárdság értéket egyetlen szakirodalomban sem, ezért ennek megállapítására saját vizsgálatokat végeztünk.

### Vizsgálati anyagok és módszerek

A vizsgálatokhoz a faanyagot a Nyugat-magyarországi Egyetem soproni botanikus kertjéből származó két törzsből nyertük. A vizsgálatok előtt a faanyagot szárítottuk, majd normál klímán ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ;  $\phi=65\%$ ) tároltuk az egyensúlyi nedvességtartalom beálltáig.

#### A rostirányú nyomószilárdság vizsgálata

A vizsgálatokat az MSZ EN 6786-8:1977 szabvány alapján végeztük. A vizsgálatokhoz  $20 \times 20 \times 30$  (sugár-, húr-, rostirány) mm nagyságú próbatesteket használtunk. A próbatestek száma 30 db volt.

$$\sigma_{ny} = \frac{F_{\max}}{A} [\text{MPa}] \quad [1]$$

ahol:

- $\sigma_{ny}$  – rostirányú nyomószilárdság [MPa]
- $F_{\max}$  – tönkremenetelhez szükséges erő [N]
- $A$  – a próbatest keresztmetszete [ $\text{mm}^2$ ]

#### A hajlítószilárdság vizsgálata

A vizsgálatokat az MSZ EN 6786-5:1976 szabvány alapján végeztük. A vizsgálatokhoz  $20 \times 20 \times 300$  (sugár-, húr-, rostirány) mm-es próbatesteket használtunk, az alátámasztási köz 240 mm volt. A próbatestek száma 30 db volt.

$$\sigma_{haj} = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l}{2 \cdot a \cdot b^2} [\text{MPa}] \quad [2]$$

ahol:

- $\sigma_{haj}$  – hajlítószilárdság [MPa]
- $F_{\max}$  – maximális törőerő [N]
- $l$  – alátámasztási köz [mm]
- $a$  – a próbatest szélessége [mm]
- $b$  – a próbatest vastagsága [mm]

#### Az ütő-hajlító szilárdság vizsgálata

A vizsgálatokat az MSZ EN 6786-7:1977 szabvány alapján végeztük Charpy-féle ütőmű segítségével. A vizsgálatokhoz  $20 \times 20 \times 300$  (sugár-, húr-, rostirány) mm-es próbatesteket használtunk, az alátámasztási köz 240 mm volt. A próbatestek száma minden menetrendnél 30 db volt.

$$w = \frac{W}{A} \left[ \frac{J}{\text{cm}^2} \right] \quad [3]$$

ahol:

- $w$  – ütő-hajlító szilárdság [ $\text{J}/\text{cm}^2$ ]
- $W$  – a tönkremenetelhez szükséges energia [J]
- $A$  – a próbatest keresztmetszete [ $\text{mm}^2$ ]

#### A keménység meghatározása

A vizsgálatokat az MSZ EN 6786-11:1982 szabvány alapján végeztük. A vizsgálatokhoz  $50 \times 50 \times 50$  (sugár-, húr-, rostirány) mm nagyságú próbatesteket használtunk. A próbatestek száma 30 db volt.

$$H_{B-M} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} [\text{MPa}] \quad [4]$$

ahol:

- $H_{B-M}$  – Brinell–Mörath-keménység [MPa]
- $F$  – alkalmazott nyomóerő – 500N
- $D$  – a próbatestbe nyomott acélgömb átmérője [mm]
- $h$  – a benyomódás mélysége [mm]

#### A sűrűség meghatározása

A sűrűség meghatározásához  $20 \times 20 \times 30$  (sugár-, húr-, rostirány) mm-es próbatesteket használtunk. Ehhez a próbatestek sugár-, húr- és rostirányú méreteit határoztuk meg, valamint meghatároztuk a tömegeiket. A sűrűséget vizsgáltuk abszolút száraz, légnedves ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ;  $\phi=65\%$ ) és élőnedves állapotban is. A próbatestek száma 30 db volt.

$$\rho_{0,\mu,\max} = \frac{m_{0,\mu,\max}}{V_{0,\mu,\max}} \cdot 100 [\%] \quad [5]$$

ahol:

- $\rho$  – abszolút száraz, normál illetve élőnedves sűrűség [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]
- $m$  – abszolút száraz, légszáraz illetve élőnedves tömeg [g]
- $V$  – abszolút száraz, légszáraz illetve élőnedves tömeg [ $\text{cm}^3$ ]

#### A dagadás meghatározása

A vizsgálatokat az MSZ EN 6786-9:1989 szabvány alapján végeztük. Az alkalmazott próbatestek mérete  $20 \times 20 \times 30$  (sugár-, húr-, rostirány) mm volt. A próbatesteket  $105^{\circ}\text{C}$ -on tömegállandóságig szárítottuk, majd meghatároztuk a sugár- és húrirányú méreteiket, valamint a tömegeiket. Második lépésként víz alatt történő tárolás után határoztuk meg a sugár- és húrirányú méreteiket, valamint tömegeiket, a tömegállandóság beállta után. A próbatestek száma 30 db volt.

$$D_{h,s} = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%] \quad [6]$$

ahol:

- $D_{h,s}$  – vonalas dagadási érték (húr, sugár) [%]
- $l_u$  – nedves méret [mm]
- $l_0$  – abszolút száraz méret [mm]



## Eredmények

### *A fatest mikroszkópos jellemzői*

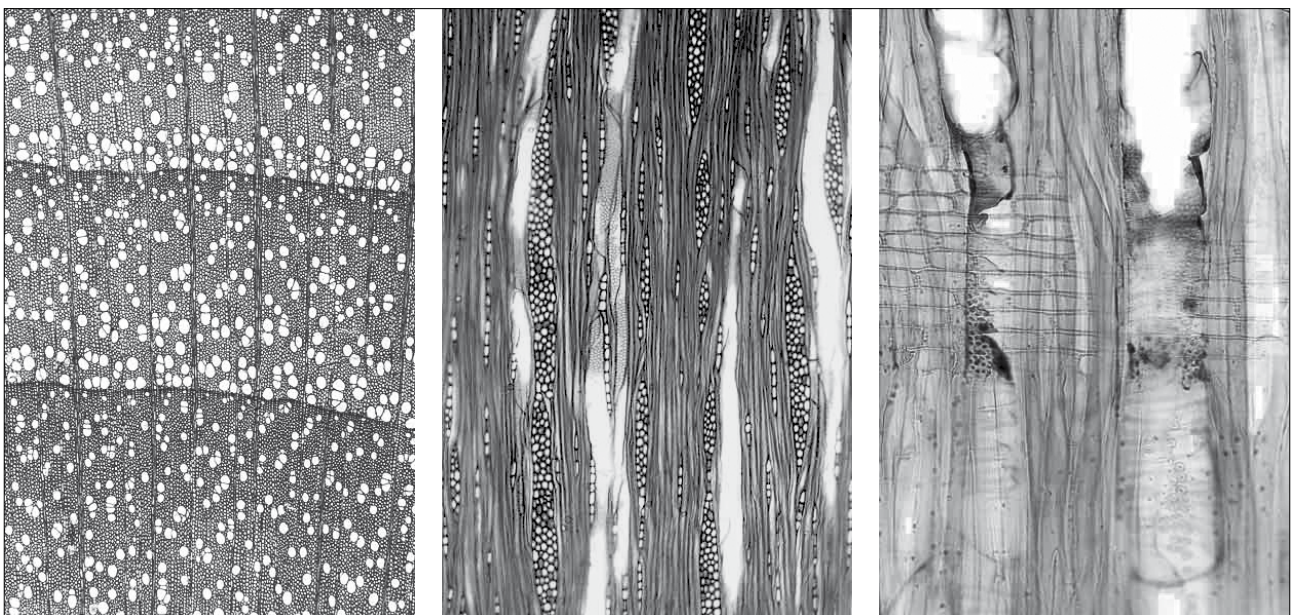
Fénymikroszkópos metszeteit az 1. ábra mutatja be, míg a pásztázó elektronmikroszkópos felvételeit a 2. ábrán láthatjuk. Elkülönítése a madárcseresznyétől (*Cerasus avium*) alig lehetséges, lényeges különbség azonban, hogy a rosttracheidák szinte hiányoznak. A fatest alapállományát vastag falú libriform rostok adják (45-50%). Az edények területi részaránya 35-38%, átmérőjük a korai pásztában 70-80, a későbbiben 30-40  $\mu\text{m}$ . A két pászta között az átmenet fokozatos. Az edények falain spirális vastagodás figyelhető meg, mely tipikusan szélesen tagolt. Az edényátörés teljes. Az edények állhatnak önállóan, elszórta az alapszövetben, vagy néhány tagú likacsugárba rendeződve. Az edények esetenként vörösbarna mézgülával telítettek. A parenchimasejtekből felépülő bélsugarak mennyiségi részaránya 17%, szabad szemmel is láthatóak a sugármetszeten. A bélsugarak általában 2-4 sejtsor szélesek, de gyakori az egy sejtsor széles bélsugár is, ami jól elválasztja a madárcseresznyétől. Ritkán előfordulhat 5-6 sejtsornál szélesebb bélsugár is. A bélsugarak magassága általában 15-30 sejt. A többsoros bélsugarakban gyakran négyzet alakúak a bélsugársejtek, a madárcseresznyében ritkábbak a négyzet alakú sejtek, inkább megnyúltak. A bélsugársejtek között gyakran találni olyanokat, melyek vékony falúak és nagyon szűk sejtüregeiek – szemben a többi meggyfélével. A hosszparenchimák részaránya igen alacsony (2-3%), elrendeződésük szórt, apotracheális.

### *A fatest makroszkópos jellemzői*

Makroszkópos elkülönítése a madárcseresznyétől nehézkes, elsősorban a kéreg, valamint az élő fa morfológiai jegyei alapján lehetséges. Szíjácsa sárgásfehér, 3-5 cm széles. Gesztje világos vörösesbarna, esetenként zöldesbarna csíkolttsággal (3. ábra). A sugármetszeti csíkos és a húrmetszeti flóderos rajzolat a jól elkülönülő évgyűrűknek és pásztáknak köszönhető. A zöldesbarna árnyalat a korai pászta nagyobb méretű edényeinek a színhatása. Az ún. félig gyűrűslikacsú fajok közé tartozik, mivel a korai pászta közepes nagyságú edényei nem alkotnak olyan szabályos köröket, mint ahogy az megfigyelhető az igazi gyűrűslikacsú fajoknál (pl. tölgy, kőris, akác). Keskeny bélsugarai a keresztmetszeten és a húrmetszeten csak nagyítóval láthatók, a sugármetszeten pedig 0,5-1 mm magas bélsugártükrök formájában. A világos, enyhén rózsaszín árnyalatú, finomszövetű fát markáns rajzolata teszi igazán esztétikussá. A kéreg sötétszürke, sokáig sima, idős korban hosszanti irányban sekélyen repedezetté válik, de vastag héjkéreg nem alakul ki (3. ábra). A hancs megsértve kellemetlen, kesernyés illatú.

### **Fahibák, károsodások, tartósság**

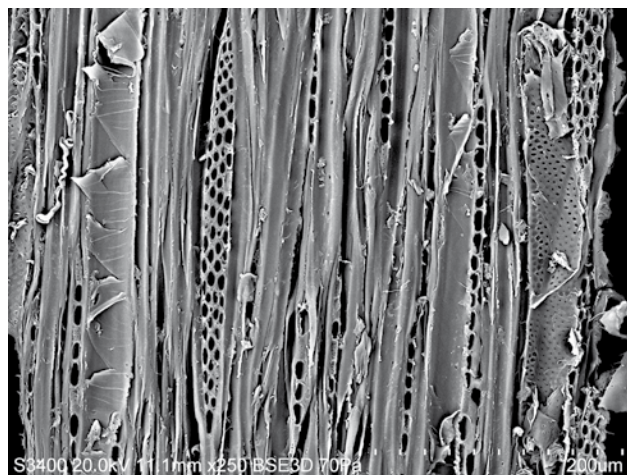
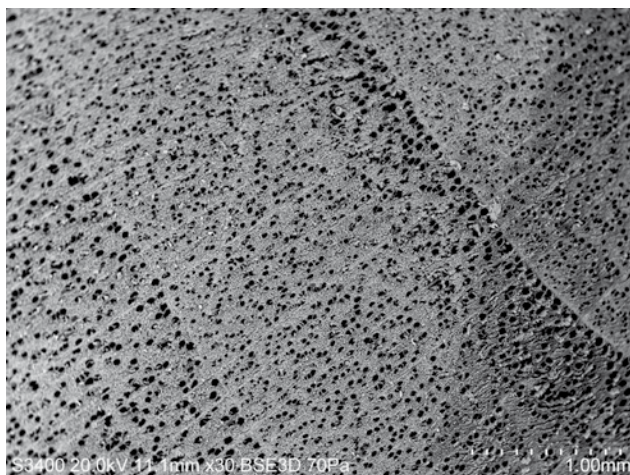
Kedvezőtlen alaki tulajdonságai miatt (gyakori görbeség, kis méret) faipari felhasználása korlátozott. Már az élő fát is könnyen megtámadják a farontó gombák. A kitermelt faanyag nem időjárásálló és fülledékeny. Ügyelni kell tehát a gyors feldolgozásra, szakszerű tárolásra.



**1. ábra** A zselnicemeggy kereszt-, húr- és sugármetszete (fénymikroszkóp) (Schoch et al. 2004)

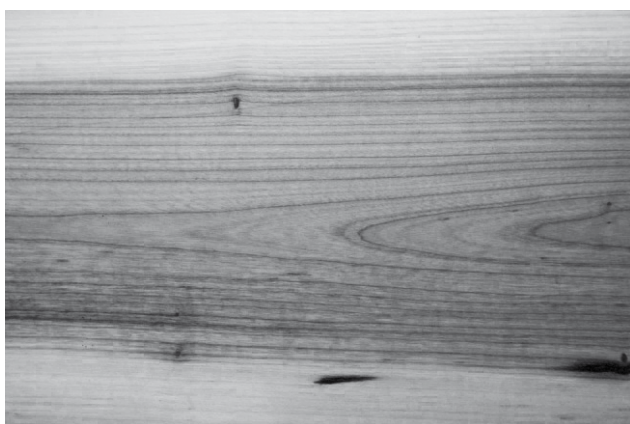
**Figure 1** Cross, tangential and radial sections of Hackberry (light microscope)





**2. ábra** A zselnicemeggy pásztázó elektronmikroszkópos felvétele, balra keresztmetszet ( $\times 30$ ), jobbra hűrmetszet ( $\times 250$ )

**Figure 2** Scanning electron microscope images of Hackberry, cross section ( $\times 30$ ) on the left and tangential section ( $\times 250$ ) on the right



**3. ábra** A zselnicemeggy fája (balra) és kérge (jobbra)

**Figure 3** The wood (left) and the bark (right) of Hackberry

### Fizikai és mechanikai tulajdonságok

A kutatómunka összesített eredményeit összehasonlítva az ismert madárcseresznyével az 1. táblázatban ábrázoltuk. A zselnicemeggy puha, közepes sűrűségű, ennek megfelelően közepes szilárdságú faanyaggal rendelkezik. Fizikai-mechanikai jellemzői a madárcseresznyéétől elmaradnak. A száraz zselnicé átlagosan 10%-kal könnyebb, de nedvesen azonos tömegű a madárcseresznyével. Az élőnedves nedvességtartalom 80% körüli értéket is elér. A faanyag dagadási anizotrópiája (húr- és sugárirányú dagadás hányadosa) igen magas ( $\sim 2,22$ ), messze meghaladja a madárcseresznye értékét ( $\sim 1,74$ ). Tehát a zselnicéből vágott fűrészáru és egyéb termékek igen hajlamosak a vetemedésre. Az ütő-hajlító szilárdság értékeit nem tudtuk összehasonlítani a cseresznye irodalmi adataival, így saját vizsgálatokat végeztünk. Ütő-hajlító szilárdság tekintetében a madárcseresznye és a zselnicemeggy értékei közel azonosak, és a kapott értékek közel állnak a tölgyekéhez.

A sűrűséghez hasonlóan a zselnicemeggy szilárdsági értékei is átlagosan 10%-kal maradnak el a madárcseresznyéétől. Eltérő tulajdonsága a zselnicemeggynek, hogy a keménysége jelentősen ( $\sim 40\%$ ) marad el a madárcseresznyétől, így ilyen szempontból a puhafák közé sorolandó.

### Megmunkálási sajátosságok

A zselnicemeggy megmunkálási sajátosságaira irodalmi adatokat nem találtunk. Így a próbatestek készítésekor szerzett tapasztalatok, a vizsgált fizikai, mechanikai tulajdonságok és a hasonló madárcseresznye jellemzői (Molnár, Bariska 2002) szolgáltattak megállapításaink alapjával.

Feldolgozásakor tekintettel kell lenni a faanyag fülledékenységére, gyenge biológiai tartósságára. Ügyelni kell a szakszerű tárolásra és az alapanyag gyors feldolgozására. Kültéri felhasználása nem javasolható. Körültekintő szárításszervezéssel, kíméletes menetrendek alkalmazásával problémamentesen szárítható. Vetemedésre hajlamos, ezért



**1. táblázat** A zselnicemeggy és a madárcseresznye fizikai és mechanikai tulajdonságai

**Table 1** Physical and mechanical properties of Hackberry and bird cherry

	Zselnice	Madárcseresznye (Wagenführ 2006)
<b>Sűrűség</b> (kg/m <sup>3</sup> )		
abszolút szárazon	500-520-600	570
légszárazon (u=12%)	530-550-650	610
frissen döntve	750-850-920	800-900
<b>Zsugorodás</b> (%)		
rostirányú	0,5	0,3-0,4
sugárirányú	4,9	5,0
húrirányú	10,9	8,7
térfogati	15,7	13,5
<b>Szilárdsági értékek</b> (rostokkal párhuzamosan, MPa)		
nyomó	34-38-44	45-55
hajlító	68-78-88	85-110
<b>Ütő-hajlító szilárdság</b> (J/cm <sup>2</sup> )	5-9-15	6-9-11 (saját adat)
<b>Keményesség</b> (Brinell, MPa)		
oldal	11-16-20	31
bütü	28-39-58	59
<b>Statikus hajlító rugalmassági modulus</b> (MPa)	6800-7700-8900	10200-11000

tárolásakor nagy figyelem fordítandó a hézaglécezésre. Könnyen, jó minőségben, méretpontosan fűrészelt, gyalulható, marható, csiszolható, esztergályozható. Repedésmentesen, könnyen szegezhető, csavarozható. Ragasztása szintén problémamentes.

#### Felhasználási területek

Faanyaga a madárcseresznyével közel azonos területeken használható fel, azonban méretbeli korlátai a felhasználási területet is szűkítik. Kisméretű bútorok készítésénél az értékes madárcseresznye kiváltására alkalmas lehet. Készíthetők belőle székek, asztalok, különböző kisbútorok. A belsőépítészetben kiválóan alkalmazható exkluzív fal- és mennyezetburkolatok, korlátok, reprezentatív lakberendezési elemek kialakítására. Mivel jól faragható, esztergályozható, kiterjedten használható dísztárgyak, különböző fatömegcikkék előállítására, sőt hangszerek (pl. fafúvók) gyártására is.

#### Összefoglalás

A szakmai kuratórium 2012-ben a zselnicemeggyet (*Prunus padus*) jelölte az év fajaként. Elkülönítése a madárcseresznyétől (*Cerasus avium*) mikroszkópos módszerekkel alig lehetséges, egyetlen lényeges különbség a rosttracheidák hiánya. Makroszkópos elkülönítése a madárcseresznyétől szintén nehézkes, elsősorban a kéreg, valamint az élő fa morfológiai jegyei alapján lehetséges. A zselnicemeggy puha, közepes sűrűségű, ennek megfelelően közepes szilárdságú faanyaggal rendelkezik. Alaktartóssága közepes, fája vetemedésre hajlamos. Fizikai-mechanikai jellemzői a madárcseresznyéétől elmaradnak. Felhasználásánál tekintettel kell lenni fülledékenységére és fokozott vetemedési hajlamára. Faanyaga a madárcseresznyével közel azonos területeken használható fel, azonban méretbeli korlátai a felhasználási területet is szűkítik. A felsorolt széleskörű felhasználhatóság is jól érzékelteti, hogy a zselnicemeggy – elsősorban mivel bizonyos korlátok között alkalmas az értékes madárcseresznye kiváltására – a jelenleginél nagyobb figyelmet érdemelne mind az erdőgazdálkodás, mind a ffeldolgozás részéről.

#### Irodalomjegyzék

- Bartha D. (1999) Magyarország fa- és cserjefajai. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 302
- Gencsi L., Vancsura R. (1997) Dendrológia. Erdészeti növénytan II. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 414-420.
- Greguss P. (1945) Bestimmung der Mitteleuropäischen Laubhölzer und Sträncher auf xylotomischer Grundlage. Természettudományi Múzeum, Budapest.
- Fekete L., Blattny T. (1913) Az erdészeti jelentőségű fák és cserjék elterjedése a magyar állam területén. pp. 793.
- Molnár S., Bariska M. (2002) Magyarország ipari fái. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, pp. 118-122.
- Molnár S., Peszlen I., Paukó A. (2007) Faanatómia. Szaktudás Kiadó Ház, p. 199.
- Schoch W., Heller I., Schweingruber F. H., Kienast F. (2004) Wood anatomy of central European species. Online verzió: [www.woodanatomy.ch](http://www.woodanatomy.ch)
- Wagenführ R. (2006) Holzatlas. Carl Hanser Verlag München Wien, pp. 243-244.



## Parabolikus napkollektor alkalmazhatóságának lehetőségei technológiai hő előállítására a faiparban\*

CsITÁRI Csaba<sup>1</sup>, NÉMETH Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE FMK Gépészeti és Mechatronikai Intézet

### Kivonat

A faiparban a hőenergia-igényes technológiáknál fontos szempont az energiatakarékosság. Az üzemek előszeretettel fedezik technológiai hő szükségletüket a termelés során keletkező hulladékokból. A faanyag árának emelkedése miatt a gyártástechnológiák során egyre kevesebb hulladék keletkezik, így ma már sok helyen nem elég a fahulladékból termelt energia. Ezeket többnyire fosszilis energia-hordozókból pótolják. Külföldön terjed az ipari létesítmények energiaellátása megújuló energiákból. A kutatásban az egyik fő szempont volt a fókuszáló napkollektorok alkalmazhatóságának vizsgálata a faiparban előforduló, hőenergia-igényes technológiai folyamatokban, kiemelten a faanyag szárítási eljárásában.

**Kulcsszavak:** hő, parabolikus napkollektor, faipar, megújuló energia

## Utilization of parabolic solar collector for technology heat production in wood industry

### Abstract

In wood industry, energy saving is of high importance in technologies with massive heat energy demand. Factories prefer to cover their thermal energy needs from waste produced during the production process. Because of the increasing wood raw material costs, processing technologies generates less and less wastes. Thus, in many places the energy produced from wood chips or waste are not enough. In most cases, the arising energy deficit is replaced by fossil fuels. In other countries, the number of industrial facilities powered by renewable energy is increasing. One of the main aspects of the research was to evaluate the utilization possibilities of solar panels in wood industry, in technological processes with high heat energy demand, particularly in the wood drying process.

**Key words:** heat, parabolic solar collector, wood industry, renewable energy

### Bevezetés

Minden iparágban egyik fontos, ha nem a legfontosabb kérdése az energiaellátás. Az energiaárak folyamatos növekedése miatt az ipar szereplői lassan, de biztosan rákényszerülnek a megújuló energiák használatára. A faipart a többi iparágéhoz képest kisebb volumenű termelés jellemzi, ezért az iparág nem tudja olyan hatékonysággal beépíteni az energiaár-növeke-

dést a termékek árába, mint a többi iparág esetében. Ezért fontos a megújuló energiák bevezetése a faipari technológiákban. Számptalan lehetőség van a megújuló energiák felhasználására. Az egyik ilyen energiaforrás már el is terjedt, sőt régóta jelen van a biomassza képeben. A faipari üzemek régóta használják a faalapú hulladékukat energiatermelésre. Sajnos egy üzem teljes hőenergia-ellátását nehezen lehet csak fahulladék-

\*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

ból fedezni, szükség van további energiaforrásra. Ezt többnyire földgázból, illetve speciális technológiáknál villamos energiából lehet fedezni. Ez a tanulmány azt vizsgálja, hogy milyen módon lehetne integrálni egy technológiai folyamatba a napenergiát.

### A napenergia

A naptól érkező energia a mozgatórugója majdnem minden földi fizikai és biológiai ciklusnak, beleértve az időjárás folyamatokat, a növényi, emberi és állati életet. A legtöbb megújuló energiaforrás is átalakított napenergia. A nap energiája ultraibolya, látható és infravörös fény formájában érkezik a földre. A földre érkező sugárzás nagy része a természeti körforgásokra fordítódik, de egy részét felfoghatjuk és felhasználhatjuk energiatermelési célokra. A napban végbemenő termonukleáris reakció hatására energia szabadul fel, amely a nap felületéről sugárzás formájában távozik a világűrbe. Az évente lesugárzott energia értéke  $1,2 \times 10^{34}$  J, amely kb.  $\pm 1\%$ -on belül állandó. Földünkre ebből a hatalmas energiából  $2 \times 10^{24}$  J jut évente. A föld pályájának excentricitása miatt ez az energia éves viszonylatban kb.  $\pm 3\%$ -kal változik (Ujfaludy 2003).

### Fókuszáló napkollektorok bemutatása

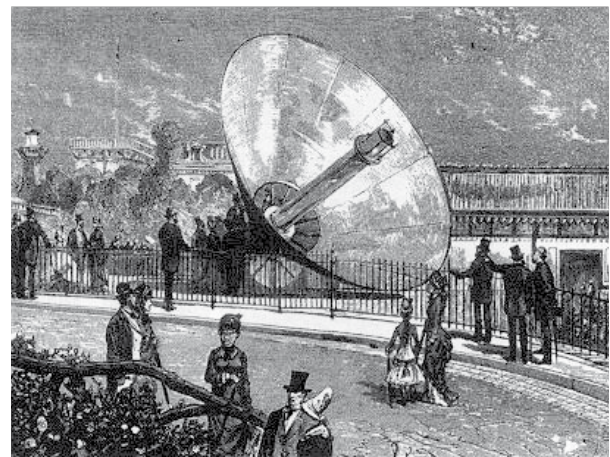
Augustin Mouchot matematikus professzor húsz év fejlesztő- és kutatómunka után vonal fókuszáló napkollektoros berendezést fejlesztett. Célja az volt, hogy olyan berendezést alkosson meg, ami egy gőzgépet is meg tud hajtani. 1874-ben mutatta be a napkövető óraművel ellátott csonka kúp alakú napkollektorát. A kazánt kívülről üvegorrítással látta el az üvegházhatás biztosítása céljából. A 2,5 m átmérőjű reflektortükör szegmensekből készült. Ez a berendezés működtetett egy 386 W-os gőzgépet. Algériában építette fel minden korábbinál nagyobb napkazánját, amelynek csonka kúp alakú reflektora 5 m átmérőjű volt. A kazánt az 1878. évi párizsi világkiállításon is bemutatták (1. ábra). A berendezés gőzgépet működtetett, amely óránként több mint 2000 liter vizet szivattyúzott. Ugyanezzel a berendezéssel alkoholt desztilláltak, ételeket főztek, sőt egy hozzákapcsolt hűtőberendezés segítségével jégkockákat is előállítottak (Rédey 2009).

Alapvetően két fajta fókuszáló napkollektort különböztetünk meg:

- parabola-vályús napkollektorok (röviden: PVN)
  - parabola-tányéros napkollektorok (röviden: PTN)
- A legegyszerűbb, legelterjedtebb rendszerek a parabola-vályús napkollektorok. A sugárzást a parabola-

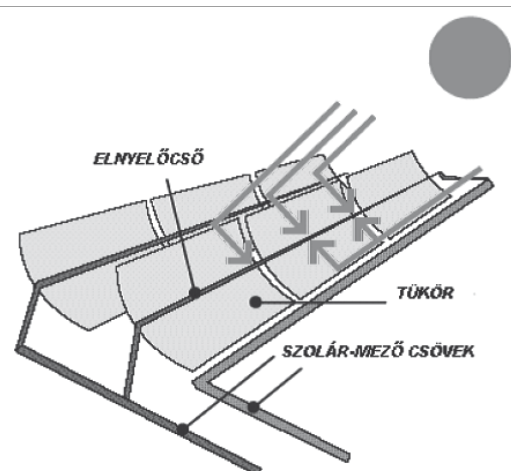
vályúk gyűjtik össze (2. ábra), majd a kollektorcsőbe vezetik, ahol olaj, illetve egyéb hőközlő folyadék áramlik. Ezen a szakaszon kb.  $400^\circ\text{C}$  van. Energiaátalakítási hatékonysága 20–30% körül mozog. Alkalmazható hőenergetikai és kogenerációs rendszerek primer energia forrásaként. A világon az egyik legelterjedtebb rendszer. Ennek okai a bővíthetőség és a többi energetikai rendszerhez képest kisebb beruházási költségek. További előnyként említhető, hogy olyan intenzív napsütésnek kitett területekre (pl.: sivatag) is telepíthető, ami mezőgazdasági célokra nem használható.

A parabolikus-tányéros napkollektor működési elve nagyon hasonló a vályús rendszeréhez, csak itt nem vonal mentén történik a napsugarak elnyelődése, hanem a parabolatányér valódi fókuszpontjába helyezett



**1. ábra** Mouchot napenergiával fűtött kazánja az 1878. évi párizsi világkiállításon

**Figure 1** Mouchot's solar generator displayed at the Universal Exhibition, Paris in 1878



**2. ábra** Vályús-parabolikus napkollektor (Forrás: Greenpeace, 2004)

**Figure 2** Solar trough (Source: Greenpeace, 2004)

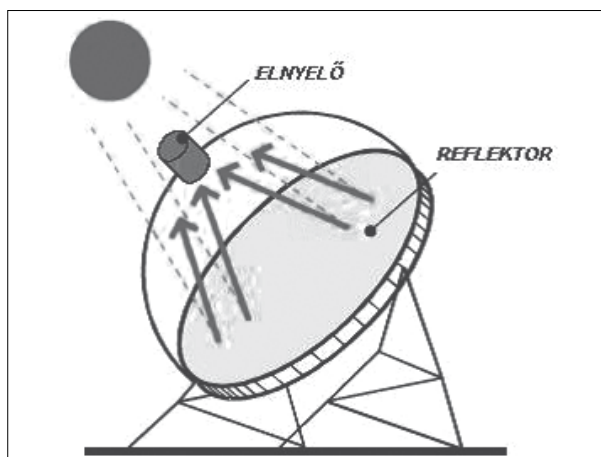
kollektoron. A rendszer konverziós hatásfoka 40% körül van, ami a szolártechnológiánál már kielégítőnek mondható. A fókuszpontban akár 20 000°C is lehet. A kollektor (elnyelő) felület viszonylag kicsi, és a hőtadó közeg többnyire termoolaj. Az ilyen rendszereket elsősorban meleg víz előállítására lehet használni. A legfejlettebb eszközöknél a fókuszpontban Stirling-motor van elhelyezve, így a hőenergia–villamos energia konverzió direkt kapcsolatban történik. Itt az összhatéfok akár elérheti a 40–50%-ot is. Ilyen típusú kollektort mutat be a 3. ábra.

### Hőigényes faipari technológiák bemutatása

A faipari gyártásfolyamatokban számos olyan technológia van, amihez nélkülözhetetlen a hőenergia használata. A faipari hőigényes technológiák közül olyan folyamatokat kellett kiválasztani, ahol termo-hidraulikus rendszerrel is lehet biztosítani a szükséges hőmennyiséget és nincs szükség villamos melegítő berendezésekre. Ezek a technológiák az alábbiak: hőpréslés; a fa hajlítása; a fa szárítása. A három technológia közül a legrészletesebben a szárítás került bemutatásra (Takáts 2004, Szabó 2003, Szabó 2001). Mivel a faiparban a konvekciós szárítás a legelterjedtebb, ezért a kutatás az ilyen típusú rendszerek hőenergia-szükségletét vizsgálta. Fontos szempont volt az is, hogy a Gépészeti és Mechatronikai Intézet kutatásában is egy ilyen típusú szárító berendezés lett felszerelve hőmennyiség mérővel. Ez a tesztkörnyezet biztosította a kutatáshoz szükséges energetikai alapadatokat.

### A szárításhoz szükséges hőenergia igény meghatározása

Első lépésben a szárítandó fafaj került kiválasztásra. A választás a tölgyre esett, hiszen a tesztkörnyezetben is ilyen faanyagot szárítanak. Második lépésben



**3. ábra** Fókuszáló napkollektor (Forrás: Greenpeace, 2004)  
**Figure 3** Solar parabolic dish (Source: Greenpeace, 2004)

az elméleti hőmennyiség került meghatározásra (2258 MJ), ami 1 m<sup>3</sup> tölgy faanyag szárításához szükséges (Takáts 2004). Ezek után kiválasztásra került a szárítási technológia szempontjából egy kedvezőtlen időszak (2010.10.14.–2010.11.12.) (Varga et al 2011). A tesztkörnyezetben mért adatok feldolgozásával nyert szárításhoz szükséges hőmennyiség értékei (2124 MJ) nagy pontossággal követik az elméleti számítások eredményeit.

### Egyedi tervezésű, kísérleti fókuszáló napkollektor termo-hidraulikus rendszerének bemutatása

A kutatás kezdetén az a döntés született, hogy meg kell építeni egy fókuszáló napkollektor prototípusát (4. ábra). Fontos szempont volt, hogy saját mérésekkel is alátámasszuk a szakirodalmakban fellelhető műszaki adatokat. A tányér egy 1460 mm átmérőjű, hagyományos parabolaantenna, 2 mm alumínium lemezből. Az antenna homorú oldala ORACAL 352 típusú tükörfóliával lett beborítva. A fólia kültéri dekorációs célokra lett kifejlesztve, így jó méretstabilitással rendelkezik és az időjárás állósága is kiváló. A hőcserélőt egyedi állványszerkezetből készült konzolos váz pozicionálja a fókuszpontba. Továbbá biztosítja a tartóoszlophoz való stabil kapcsolódást és hordozza az antennát. A napból visszavert sugárzást a kollektor nyeli el, amely a parabola fókuszpontjában van elhelyezve. A kollektor adja át a munkaközegnek (termoolaj) a hőenergiát. Ezt a felmelegített közeget egy szivattyú továbbítja hőálló PTFE (poli-tetrafluor-etilén) tömlőkön keresztül a hőcserélő berendezéshez. Ez a tömlőanyag képes nagy hőmérsékletű (~350 °C) olajok szállítására jelentős károsodás nélkül. Az acélszövettel bevont és



**4. ábra** A parabolatányér és a kollektor kialakítása (Forrás: saját kép)  
**Figure 4** The developed solar thermal collector dish



szabványos csatlakozóval szerelt tömlők alkalmazása mind hőtechnikai, mind biztonságtechnikai szempontból indokolt volt kísérleti napkollektornál.

### Fókuszáló napkollektor által hasznosítható hőenergia meghatározása napsugárzás-szimulációs méréssel

Mérés célja: napfény hiányában napkollektor hőátadásának mérése reflektoros megvilágítás mellett. Adott térfogatú termoolajat keringetünk át a rendszeren. A rendszerben az elemek szigetetlenek. A napsugárzás modellezésére egy 2000 W-os, Philips Tempo4-RVP451 típusú reflektor szolgáltatja a sugárzási energiát. A termoolaj hőmérséklet-különbségét egy VOLTCRAFT®IR-SCAN-350RH típusú infra hőmérővel mértük a kollektor ki- és belépő csőszakaszának az erre a célra kialakított felületén. A termoolaj kezdeti hőmérséklete megegyezett a labor hőmérsékletével  $T_{kiindulási} = 28^\circ\text{C}$ . A mérés során elért legmagasabb hőmérséklete az olajnak  $T_{maximum} = 327,5^\circ\text{C}$ . A mérési folyamat közben a termoolaj-hőmérséklet veszélyesen megközelítette a megengedhető legnagyobb technológiai hőmérsékletet ( $350^\circ\text{C}$ ) (5. ábra).

Az olajhőmérséklet emelkedésére fordított energia (Milus 2009):

$$Q_1 = c \cdot q \cdot V \cdot (T_{maximum} - T_{kiindulási}) = 1169,21 \text{ KJ} = 324,7 \text{ Wh} \quad [1]$$

ahol:

$$c - \text{a termoolaj fajhője} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$q - \text{a rendszerben keringő olaj tömegárama} \left[ \text{kg}/\text{cm}^3 \right],$$

$$V - \text{az olaj térfogata} \left[ \text{cm}^3 \right]$$

### A kollektor hatásfokának meghatározása:

A besugárzásra használt energia:

$$E_{\delta} = 2000 \text{ Wh}$$

Az olajhőmérséklet emelkedésére fordított energia:

$$Q_1 = 324,7 \text{ Wh}$$

$$E_{\delta} - Q = E_{vesztés} \quad [2]$$

ahol:

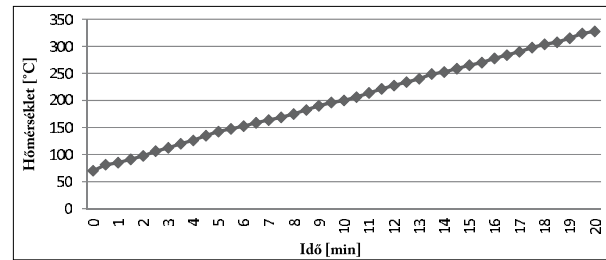
$E_{vesztés}$  – az az energiamennyiség, ami nem az olaj melegítésére fordítódik. Ez az energia melegíti a szivattyút, olajvezetéseket, a vázat és a hőcserélőt.

Az energiavesztés az alábbi összetevőkre bonthatók:

$$E_{\delta} - E_{kisugárzott} - E_{konvekciós} - E_{elsugárzott} = Q \quad [3]$$

ahol:

$E_{kisugárzott}$  – az az energia, amelyet a reflektor nem a kollektor irányába ad le.



5. ábra A hőmérséklet-alakulás a termo-hidraulikus rendszerben

Figure 5 Temperature in the thermo hydraulic system

$E_{konvekciós}$  – az az energia, amelyet a reflektor, kollektorburkolat és a csővezetékek körül beinduló légáramlások elvonnak a rendszertől, azaz hűtik.  
 $E_{elsugárzott}$  – az az energia, amelyet a reflektor elsugároz a kollektor mellett, ezzel analóg jelenség a parabolatükör tökéletlen fókuszálásából fakadó nem pontszerű fókuszálás.

A reflektor esetén a kollektor irányába sugárzó felület:

$$A_{reflektor} = 18 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} = 360 \text{ cm}^2 \quad [4]$$

A kollektor besugárzott felülete:

$$A_{kollektor} = 113,1 \text{ cm}^2$$

Geometriai megfontolások alapján belátható, hogy a besugárzási részhatásfok:

$$\eta_1 = \frac{A_{kollektor}}{A_{reflektor}} = 0,3141 \quad [5]$$

Az olaj melegítésének a hatásfoka az alábbi módon fejezhető ki:

$$Q_2 = E_{\delta} \cdot \eta \quad [6]$$

ahol:

$\eta$  – a rendszer hatásfoka.

A hatásfok az alábbi módon számítható:

$$\eta = 1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n \quad [7]$$

ahol:

$\eta_1$  – a besugárzási részhatásfok,

$\eta_n$  – a rendszer részhatásfokai.

A legszembetűnőbb veszteség a reflektor elsugárzásából, az ún. besugárzási veszteségből fakad. Így:

$$Q_2 = E_{\delta} \cdot \eta = 628 \text{ Wh} \quad [8]$$

Tehát 628 Wh energia tud az olaj melegítésére fordítani (eltekintve a többi veszteségtől).

A kollektor technikai hatásfoka:

$$\eta_{kollektor} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100 = 51,7\% \quad [9]$$

Fontos megjegyezni, hogy számos paramétert idealizáltunk. A rendszer teljes termikus hatásfokának

meghatározása még hátra van. Az irodalmak áttekintése után és a saját tapasztalataink alapján a rendszer összhatásfoka  $\eta_{\text{össz}}=40\text{-}60\%$  körül fog alakulni. Így a továbbiakban 50%-os hatásfokkal lett figyelembe véve a rendszer teljesítménye.

### **Anapkollektoradottidőszakban (2010.10.14.–2010.11.12.) termelt hőmennyiségének felhasználhatósága a szárítási folyamatban**

A koncentrált energiatermelés szempontjából nem a legmegfelelőbb a fenti időintervallum, hiszen ez már a téli időszakba esett. Az októberi értékek azért ilyen magasak, mert 2010-ben kiemelkedően napsütéses volt a hónap. A novemberi értékek már jelentősen kisebbek. A napsugárzási adatoknak a középértékét vettük a számításokhoz (1. táblázat).

Közepes beeső energiával számolva:

$$E_{\text{beeső}} = 153 \text{ kWh} = 550,8 \text{ MJ}$$

Ez az elméleti energiamentiség, amit az adott időszakban el tudna nyelni a kollektor. Ha a kollektor valódi hatásfokát vesszük  $\eta_{\text{kollektor}}=51,7\%$ , akkor a felhasználható hőenergia az alábbiak szerint alakul:

$$Q_{\text{hasznos}} = \eta_{\text{kollektor}} \cdot E_{\text{beeső}} = 69,1 \text{ kWh} = 284,76 \text{ MJ} \quad [10]$$

Elmondható hogy 1 m<sup>3</sup> faanyag szárításához szükséges energiának a 13,41%-át tudná fedezni a prototípus fókuszáló napkollektor. Ezek az értékek nem

**1. táblázat** A napkollektorunk felületére besugárzott hőenergia

**Table 1** Thermal energy irradiated at the surface of the solar collector

Hónap	Átlagos besugárzás [kWh/m <sup>2</sup> ]	Tényleges [óra/hónap]	Átlagos besugárzás [kWh/A <sub>p</sub> ] A <sub>parabola</sub> = 1,67415 m <sup>2</sup>	Összes besugárzás [kWh/hónap]
Január	0,7756	58	1,2983544	75,3
Február	1,468	85	2,457432	208,9
Március	2,733	140	4,575042	640,5
Április	4,13	196	6,91362	1355,1
Május	5,171	250	8,656254	2164,1
Június	5,75	275	9,6255	2647,0
Július	5,807	309	9,720918	3003,8
Augusztus	4,988	283	8,349912	2363,0
Szeptember	3,82	213	6,39468	1362,1
Október	2,184	145	3,656016	530,1
November	0,826	60	1,382724	83,0
December	0,533	43	0,892242	38,4

támasztanak alá a rendszer hatékonyságát, de ha figyelmesen tanulmányozzuk a 1. táblázatot, láthatjuk, hogy a nyári hónapokban akár a hőszükséglet 50–60%-át is tudná a napkollektor biztosítani. Egy 80 m<sup>3</sup>-es szárítónál a kb. 140 m<sup>2</sup> parabolikus felületre lenne szükség, ha 50%-os hőrészegítést akarunk elérni. A hatásfok növelésének lehetőségei, hogy szigeteljük a napkollektor berendezéseit és a termo-hidraulikus rendszer áramlási viszonyait optimalizáljuk. További hatásfoknövekedés érhető el hőtároló puffer tartályok telepítésével, krómozott parabolikus felületek alkalmazásával, továbbá egy automatizált, precíziós napkövető rendszer alkalmazásával.

### **Következtetések**

A kutatás célja az volt, hogy megvizsgáljuk azokat a hőigényes technológiákat a faiparban, amelyhez egy fókuszáló napkollektor-rendszert lehetne illeszteni energiársegítés céljából. A legnagyobb hőigényű technológia a szárítás, így kézenfekvőnek tűnt ennek vizsgálata. Mivel a konvekciós szárításnál is elsősorban termo-hidraulikus rendszer segítségével történik a hőátadás, ezért könnyebb lehet a napkollektorok hőenergiájának a betáplálása. Először elméleti úton meghatároztuk 1 m<sup>3</sup> faanyag szárításához szükséges hőenergia mennyiségét. Majd a kísérleti környezet adatai kerültek kiértékelésre. Ezzel párhuzamosan történtek a parabolikus napkollektor teljesítmény- és hatásfok mérései. Az adatok birtokában arra a következtetésre jutottunk, hogy a legrosszabb körülmények között is képes lehet a fókuszáló napkollektor 13,41%-ban fedezni a szárítási hőszükségletet az adott konvekciós szárítónál. Gyakorlati megállapításokat tettünk arra nézve, hogy egy 80 m<sup>3</sup> nettó szárítási kapacitású konvekciós szárítóhoz mennyi parabolikus felületet kell telepíteni ahhoz, hogy a szükséges hőenergia 50%-át a napenergiából lehessen fedezni.

### **Közlemény**

A kutatás a „Környezettudatos energiahatékony épület” című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt, valamint a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen című TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális alap társfinanszírozásával valósult meg.

### **Irodalomjegyzék**

Milus B. (2009) Fókuszált napenergia és annak hasznosítási lehetőségei. Szakdolgozat pp. 36-42 Budapest

- Rédey S. (2009) Telkes Mária – az ismeretlen napkirálynő. *Természet Világa* 2009/3
- Szabó I. (2001) Mechanikai Megmunkálás és Kárpitozás A. kötet: Mechanikai Megmunkálás a Bútor - és Épületasztalos Iparban; pp.125-126.; Sopron
- Szabó I. (2003) Ragasztás és Felületkezelés A. kötet: Ragasztási Műveletek és Eljárások; pp. 62-64. Sopron
- Takáts P. (2004) Szárítás és Gőzölés. Sopron
- Ujfaludy L. (2003) A napenergia-hasznosítás rövid története. *Fizikai Szemle* 2003/3; 99.o.
- Varga M., Németh G., Kocsis Z., Bakki-Nagy I. (2011) Fafeldolgozó üzem energiafelhasználásának feltárása, hő- és villamos energia mérlegek készítése. Komplex energiagazdálkodási új eljárás és modell kidolgozása. Tanulmány, Sopron

## Fotoanalitikus módszerek használata a fafeldolgozás területén\*

BOROS János<sup>1</sup>, EDELÉNYI Márton<sup>1</sup>, PÁSZTORY Zoltán<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NymE FMK Informatikai és Gazdasági Intézet

<sup>2</sup> NymE FMK Innovációs Központ

### Kivonat

Az erdőgazdálkodás és fahasznosítás során a növedékfokozó és törzskiválasztó gyérítéseknel, valamint a végfelhasználáskor is keletkezik kisebb átmérőjű hengeres faválaszték, azaz sarang. A teljes kitermelt famennyiség 40-75%-a is lehet sarang, ami függ fafajtól, termőhelytől és felhasználástól. Magyarországon ez évente mintegy három és fél millió köbméter nyersanyagot jelent (Pásztor et al. 2010). Az ilyen anyag feldolgozása eltér az értékesebb rönkfától: gyakran papíripari, lemezipari célokra, de egyre nagyobb arányban tűzifaként is hasznosítják. A mennyiségi arányok miatt nagy piaci részesedést és ezzel járó pénzügyi forgalmat jelent a sarang faanyaggal kapcsolatos tevékenység. A modern technológiák világában elengedhetetlen, hogy minél pontosabban és egzaktabb módon tudjuk meghatározni a fa mennyiségét. A Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Karán folyó kutatás eredményeként egy informatikai eszközökkel támogatott rendszert fejlesztettünk ki. Az új fotoanalitikus felmérő rendszer segítségével a hagyományos módszereknél pontosabban és gyorsabban határozható meg a faanyag tömör mennyisége a rakatban.

**Kulcsszavak:** fafeldolgozás, fotoanalitika, sarang, hengeres faválaszték

## Photoanalytical methods used in wood processing

### Abstract

Wood logs with smaller diameter, so called stacked wood, are produced in forest management and wood utilization during trunk selection, increment thinning as well as end utilization. The stacked wood volume could reach even 40-75% percent of the total yield depending on the wood species, forest site and utilization. Stacked wood volume is between three and three and a half million cubic meters per year in Hungary (Pásztor et al. 2010). Processing of this wood material varies from that

\*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.



of the logs of higher value. It is used in paper and particle board industry and in rising amount as fire wood. Because of the high volume, stacked wood related activities cover high ratio of the market and the related turnover. The exact measurement of stacked wood amount is indispensable these days when modern technologies are available. A new survey system supported by information technology was developed at the Faculty of Wood Science, University of West Hungary. With the new photoanalytical survey system the mass volume of stacked wood can be measured more accurate and faster compared to the traditional methods.

**Key words:** wood processing, photo analysis, stacked wood, cylindrical wood selection

### Bevezetés

Az erdőgazdálkodásban a sarangolt választékok mennyiségi meghatározása űrméterben vagy tömör köbméterben történik. A két mértékegység között egy átszámítási tényező segítségével váltják át az értékeket. Ezeket az átszámítási értékeket mérésekkel és statisztikai számításokkal alakították ki a 19. század első felében, majd később differenciálták őket különböző választékokra. Az elmúlt évtizedekben a választékok száma lecsökkent és a legtöbb esetben ugyanazt a választékot állítják elő a termelők különböző hosszúságban. Ezen felül az erdőállományok minősége, mérete és korösszetétele is kedvezőtlenül változott.

Az űrméter és a tömör köbméter közötti átszámítási tényező több bizonytalanságot hordoz, többek között azért, mert az ideális hengeres alakú faanyagból több fér egy űrméterbe, mint a görbe ágfából. A kitöltési értéket befolyásolják még az összerakás milyensége, az ágak levágási helyei, a fafaj, az átmérő tartomány és az alaki tényező is. Mindezen bizonytalanságok hatására ugyanabba a térfogatba különböző mennyiségű fa kerülhet, miközben a nyilvántartásban ugyanaz az adat kerül. Méréseink során akár 12-20%-os eltérést is tapasztaltunk az egyedi köbözéshez képest és ez jelentős anyagi veszteséget jelenthet az értékesítő cég számára. A felmérés során a legpontosabb eredményt az egyedi köbözés módszere szolgáltatja (Bedő 1875). Ugyanakkor kis túlzással fizikai képtelenség minden egyes darabot egyenként felmérni a sarangban. A gyakorlatban a felmérés átlagolással történik. A rakomány (vagy sarang) hosszát, illetve több helyen a magasságát megméri, és ezen adatokból kapnak egy felületértéket. Ezt a számot a kivágott faanyag hosszával szorozva kapják az űrméter térfogatot. Az említett átszámítási tényező segítségével határozzák meg a rakomány vagy rakat tömörfa mennyiségét. Jelenleg a cégek saját átszámítási tényezőikkel dolgoznak, ezeket próbálják érvényesíteni a saját áruforgalmukban. Kutatásunk során olyan megállapításra jutottunk, hogy modern informatikai eszközök segítségével pontosabb módszereket is lehet alkalmazni. Felmérve az egyes rakatok saját tömör faanyag tar-

talmát, kiküszöbölénk, de legalábbis enyhítenénk a jelenlegi rendszer hibáit és hiányosságait.

A szállítás során a faanyag mennyiségét fel kell tüntetni a szállítólevélen. Ez egyrészt kötelező a közúti közlekedés szabályai miatt, másrészt így tudják ellenőrizni az átadott famennyiséget.

Tapasztalataink szerint az átadás-átvétel akkor sem mindig feszültségmentes ügylet, ha az átadó és az átvevő egy céghez tartozik. Eltérő cégek esetén pedig az ellentétes érdekeltség nyilvánvalóan a feszültség gócpontja. Az eladó cég „minél nagyobb” mennyiségű árut akar papíron feltüntetve eladni, míg az átvevő „minél kevesebb” faanyagot kíván átvenni szintén papíron. Ha a mérési módszer hibája viszonylag magas, akkor az könnyebben adhat okot a vitára, ellenben egy pontos mérési módszer esetén mind a vevő mind az eladó elégedetten fogadhatja el az adatokat. Korábban is voltak már törekvések arra, hogy valamilyen egzakt módon, akár fényképek alapján legyen meghatározva a tényleges köbméter egy sarangon belül. Keepers már 1941-ben papírra vetett egy, a kor technikai feltételeinek megfelelő megoldási javaslatot: egy manuálisan működő eszközzel papíralapú fényképeken mért távolságot. Az eszköz segítségével külön lehetett mérni a faanyag és a hézagok „hosszát” (Keepers 1945). Egy másik megoldási irány, ami épp a konvertálás közötti mérőszámok pontosítását célozta, szintén mintegy 60-70 évvel ezelőtt vált ismertté (Schnur 1932, Barrett et al. 1941).

A modern kor vívmányainak köszönhetően az informatika és elektronikus eszközök is szolgálatba állíthatóak a probléma megoldására. Knyaz és társai 2004-ben publikáltak egy háromdimenziós technikát digitális kamerák és szoftveres képfeldolgozás alkalmazásával (Knyaz et al. 2012).

Jelen kutatás célja kettős: egyrészt a korábban említett magas hibát kívánjuk lecsökkenteni 3-5% körüli szintre, faválasztéktól és környezeti tényezőktől függően, másrészt mindkét fél által használható szoftvert és eszközt szeretnénk meghonosítani a ffeldolgozás területén. A rendszert két fő bevetési területre szánjuk. Az első egy fix kamerás rendszer, ahol a szállítójármű mindig ugyanabba a pozícióba



állítható. A másik egy mobil eszköz, ahol a beállítási paraméterek, a távolság, a fókuszpont is változnak.

### Módszerek

Az új fotoanalitikus módszer lényege az a feltételezés, hogy a sarang bütü felőli oldalán a fa koronák felületi részaránya ugyanakkora, mint a tömör anyag részaránya a rakatban. A rakatot a rönkökre merőlegesen képzeletben elvágva egy ugyanolyan metszeti képet kapnánk, mint amit a bütü oldalról láthatunk. Természetesen ennek a síknak a mozgása kisebb eltérésekkel járna a felületi részarányhoz képest, de ezek az eltérések messze alatta maradnak a jelenleg használt módszerrel összevetve.

A kutatás egyik fontos célja, hogy e feltételezésre építve gyakorlatban használható digitális eszközt és feldolgozási módszert készítsen a felületi részarány, és ezáltal a tömör faanyag tartalom meghatározására. Ehhez elsősorban egy nagy felbontású fényképet kell készíteni a rakomány bütü felőli oldaláról. A felbontás milyensége nagymértékben meghatározza a rendszer pontosságát, hiszen nem mindegy, hogy egy pixel mekkora felületért felelős a valóságban.

A kutatás kapcsán egy Java nyelven írt program készült, amelynek feladata, hogy tetszőleges digitális fényképfelvétel esetén félautomata vagy automata módon határozza meg a tömör faanyag mennyiségét, amennyiben a képfelbontás eléri vagy meghaladja a program számára szükséges minimális szintet. A kialakított megoldás tehát egy fényképen el tudja különíteni pixelszínek vagy egyéb jellemző tulajdonságok alapján a feldolgozás szempontjából fontos részleteket.

A képfeldolgozás folyamata több, jól elkülönített lépésből áll: kamerafelvétel beolvasása, majd a kép léptékhelyessé történő transzformálása, a kép szerkesztése, a releváns terület meghatározása, további szerkesztési lehetőségek, majd a jelentésgenerálás zárja a sort.

A program indulásakor automatikusan egy új feldolgozási folyamatot indít. A folyamat során az egyik legfontosabb lépés a transzformáció. Annak a célnak az elérésére, hogy a digitális képet léptékhelyes környezetbe tudjuk illeszteni, egy külön algoritmust használunk. Az eljárás alapja, hogy ismerni kell négy rögzített pontot az adott fényképen, továbbá egy X és egy Y irányú távolságot. Ezek után számítások segítségével létrehozunk egy mátrixot, melyet felhasználva a kép minden egyes pontját áthelyezzük a bekért adatoknak megfelelő pontba. Ha a fényképet ideális módon készítjük el,

azaz a sarang pont velünk szemben található, akkor elméletileg csak egyetlen pont van a tényleges helyén, mégpedig a kamera optikájának gyújtópontjával szemben levő. Az összes többi pontra érvényes lesz a lencséből fakadó valamilyen mértékű „hordó” torzítás, melynek mértéke eltérő a kép különböző részein. A torzítás mértéke a kép széle felé haladva növekszik, ezért a látszólag ideális képet is transzformálni kell, hogy igaz legyen minden egyes pixelére, ugyanakkora fizikai távolságot takar minden pixel, legyen szó a kép közepéről vagy a kép széléről. Fixen telepített rendszer esetén a rendszer kiépítése során mérjük fel és állítjuk be a kamera értékeit és paramétereit. Erre azért van lehetőségünk, mert optimális esetben a képsík, illetve a fókusz távolság nem fog változni egy ilyen rendszer esetén. Itt kell megemlíteni, hogy sajnos a rendszer minimális hibát hordozhat magában a rakomány kamerától való távolsága miatt. Ugyanis a fix rendszer esetén nem mindegy, hogy a rakomány síkja 10 méterre vagy 10,3 méterre van a kamerától, mivel ebben az esetben akár 2-3% körüli hiba is adódhat. Tapasztalataink azt bizonyítják, hogy a sofőrök nagyon pontosan tudják a rakományt pozicionálni, ha akarják, illetve ha rá vannak szorítva. Mobil eszköz esetén a transzformációs paramétereket az adott környezetnek megfelelően kell megadni, így ezek minden egyes feldolgozásnál más és más értéket fognak képviselni. Miután elkészítettük a léptékhelyes képet, további funkciók használatával tudjuk a képet még inkább pontosítani, fókuszálni a mérendő részletre (téglalap vagy sokszög kivágás, zoomolás stb.), majd a léptékhelyes, szerkesztett kép birtokában több algoritmus közül tudunk választani a famennyiség meghatározásához. Minden módszer közös tulajdonsága, hogy segítségükkel a megjelenített képen megállapítható a bütü felületek nagysága. A feldolgozás során a paraméterek kezelő általi változtatására a rendszer valósidejű információt jelenít meg az aktuálisan meghatározott terület nagyságáról. Fontos kihangsúlyozni, hogy itt még csak síkban dolgozunk, azaz nem térfogat értékek, hanem terület értékek jelennek meg.

Az „RGB módszer” használata során az algoritmus mintapontokat kér a felhasználótól. Ezeket a pontokat érdemes és célszerű úgy kiválasztani, hogy a vizsgált sarang bütü felületének valamely pontjára kattintsunk. A rendszer meghatározza a kiválasztott pontok szín koordinátáit és beállítható toleranciahatáron belül a hasonlókat kiválasztja

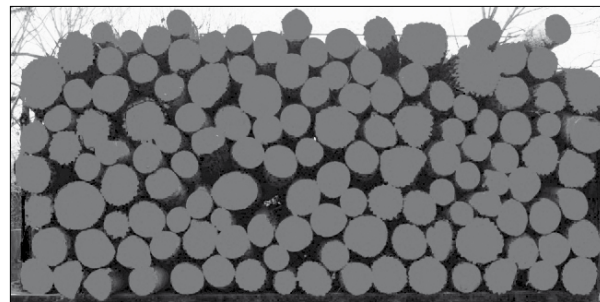
a képről. Ezek után automatikusan fut az algoritmus, egy ajánlást kapunk a programtól a megadott mintapontok alapján. Amit eredményül kapunk, az egy színezett kép és a számolt eredmények. A képen lila színnel vannak jelölve azok a pixelek, amelyek a megadott kritériumpontnak (illetve tolerancia környezetének) megfelelnek. Eredeti, normál színükkel vannak reprezentálva azon képpontok, melyek nem estek bele a kiválasztásba. Amikor nagyobb százalékos arányban nem jelölt képpontokat az algoritmus, pedig a sarang bütüjéhez tartozik (tipikus példa, hogy a farakás egyik része árnyékos, másik világosabb), akkor választhatunk további referencia pontokat is, melyekhez a program automatikusan generálja az új képet és értéket is. A módszer finomhangolására, az aktuális feldolgozástól függően lehetőségünk van a toleranciahatár változtatására.

Egy másik, továbbfejlesztett opció az „**automatikus RGB módszer**”. Ennél az algoritmusnál nem kell a felhasználónak semmilyen input paramétert megadni (azaz kattintani a képen), mivel a módszer automata módon feltérképezi a képet, és egy ajánlást ad a bütü felületet jelentő pixelekre (1. ábra). Amennyiben úgy gondoljuk, hogy túl sok vagy túl kevés képpontot jelölt meg, lehetőségünk van finomhangolásra is a fényességi és a kontraszt paraméterek állításával.

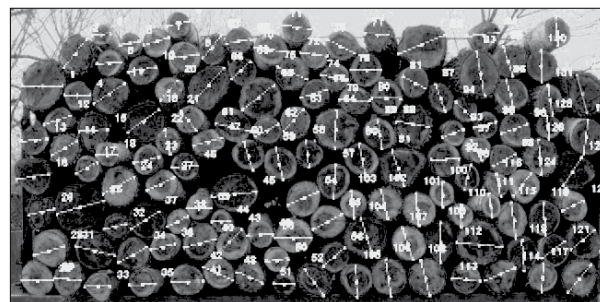
A módszerek közül a következő választás az „**egyedi kőb**” módszer. Ezzel a módszerrel kis vonalzókat helyezhetünk el a képen, ami lehetővé teszi, hogy minden farönköt egyedileg mérjünk meg. A vonalzó a rönk átmérőjét jelzi, az adott rönk bütü felületének számításakor szabályos kör alakú terület veszünk alapul (2. ábra). Ez a módszer gyakorlatilag a manuálisan elérhető legpontosabb módszernek az elektronikus megfelelője.

Az „**átlag módszer**” egy gyors megoldást nyújt a keresett felület becslésére, melyben vízszintes és függőleges vonalzókat helyezhetünk el a képen. Külön átlagoljuk a függőlegesen, és külön a vízszintesen elhelyezett vonalzókat hosszát, majd ebből a két értékből egy téglalap alakú területet tudunk számolni (3. ábra). Ez a terület természetesen magában foglalja a rönkök közti üres tereket is, ennek kiküszöbölésére lehetőségünk van megadni a kitöltési tényező értékét. Ez a módszer az aktuálisan használt eljáráshoz hasonlít, annak digitális megfelelője.

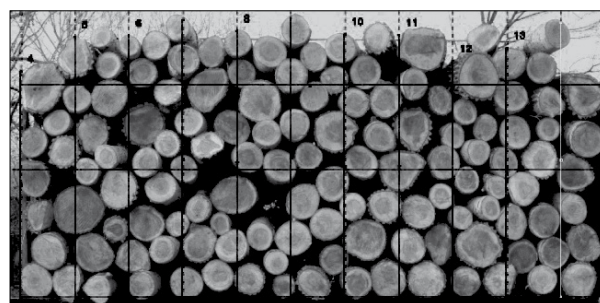
Miután végeztünk a kép vizsgálatával, lehetőségünk van a kapott eredményeket menteni vagy nyomtatni. További technikai jellegű adatok megadásával egy jegyzőkönyvet készíthetünk.



**1. ábra** Automatikus RGB módszer szerinti képfeldolgozás  
**Figure 1** Image processing with the method 'Automatic RGB'



**2. ábra** Egyedi kőb szerinti képfeldolgozás  
**Figure 2** Image processing with the method 'Unique cubic'



**3. ábra** Átlag szerinti képfeldolgozás  
**Figure 3** Image processing with the method 'Average'

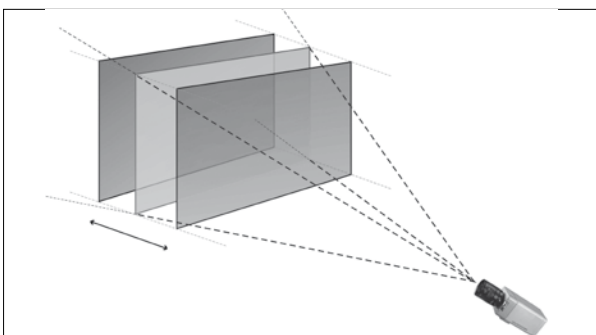
A program fejlesztése során nagy hangsúlyt fektettünk a kényelmes használhatóságra mind felhasználói, mind fejlesztői oldalról. Az alkalmazás lehetőséget nyújt arra is, hogy az eredmények egy integrált vállalatirányítási rendszerbe kerüljenek. Cél volt, hogy a program felépítése moduláris legyen: általánosan felépített Java osztályok segítségével könnyedén bővíthető a program tetszőleges, a felhasználói interakciót és a feldolgozást biztosító algoritmusokkal. Ez nagyon előnyös a megfelelő módszerek kipróbálásához, beépítéséhez. A program testreszabhatósága különösen a jelentés készítése során indokolt, így kezelése XML alapon történik. A tesztkörnyezet egy fixen rögzített videokamera által elkészített képet olvas be, ezt feldolgozza, majd a kapott eredményeket lokálisan tárolja a programot futtató számítógépen.

### Eredmények és értékelés

Ahhoz, hogy meg lehessen határozni, mennyire pontos és jól működő a feldolgozó algoritmus, viszonyítási alapot kell találni. Az egyedi köbözés lényege, hogy minden egyes rönk átmérőjét megmérjük a sarangban, kiszámoljuk a felületeket és az így adódó értékek összegét szorozzuk a hosszal, ez által kapjuk a teljes térfogatot. Az eljárás nem veszi figyelembe az esetleges fahibákat, mivel csak a rönk vágási felületét méri. A programban található hasonló algoritmus is rendelkezik ezen belső hibával. Nagyon sok külső tényező befolyásolja a készített kép minőségét, így a feldolgozás pontosságát is. Az időjárási körülmények (napsütés, köd, esős idő stb.) nagyban ronthatják a kép minőségét, ezért nem elérhető egy rosszabb kép esetén a program által nyújtott maximális teljesítmény. Ez elsősorban abból adódik, hogy gyengébb fényviszonyok mellett a kép színei és egyéb tulajdonságai is romlanak. Hiába áll rendelkezésre ilyenkor egy elvileg nagy felbontású kép, valójában sokkal kevesebb megfogható és feldolgozható információt hordoz magában. A feldolgozás során több módszerünk is az egyedi, különálló pixelek tulajdonságain alapszik. Így a gyenge minőségű kép magában hordozza a pontatlanabb feldolgozást. Ugyanakkor jó minőségű kép alapján a program eléri a támasztott követelményeket, így optimális esetben néhány százalék (2-5%) hibával képes dolgozni a rendszer.

A távolsági hiba nagymértékben meghatározza a pontosságot (4. ábra). A távolsági hiba akkor lép fel, ha a szállítójárművön lévő rakomány nem a feltételezett kameratávolságban helyezkedik el, hanem attól közelebb vagy távolabb.

Abban az esetben, ha a tárgy a kamerához közelebb van, mint a vélt távolság, akkor a kamera nagyobbak, ha távolabb, akkor kisebbnek látja. Ebből adódóan jelentős hiba kerülhet a rendszerbe, az alábbi táblázat szerint (1. táblázat).



**4. ábra** Távolsági hiba szemléltetése

**Figure 4** Demonstration of distance failure

A táblázat adatai alapján minél messzebb van a kamera a képsíktól, a hiba mértéke arányaiban kisebbé válik, mint egy közelebbi kamera pozíció esetén. 10 méterre elhelyezett kamera esetén egy 10 cm-es képsík hiba 2%-os hibát okoz a felület nagyságában. Ugyanez a képsík távolság eltérés 25 méterre lévő kamera esetén csak 0,8%. A távolsági hiba mértékének növekedésével értelemszerűen egyenes arányban nő a felületi hiba is.

### Következtetések

A kísérleti mérések során igazolódtak a kezdeti feltételezések, miszerint egy bütüről készült fénykép alapján a rakomány vagy rakat tömör térfogati aránya meghatározható. Optimális esetben a rendszer képes a hagyományos felmérési hiba egy ötödét elérni, azaz a 2-4%-ot.

Ehhez természetesen jó felbontású, jó fényviszonyokkal rendelkező képre, minimális távolsági hibára van szükség. A felmérés pontosságát a faanyag bütü felületének színe is befolyásolja. A friss vágású anyagok esetén a felület színe jelentős mértékben tér el a kéreg és a köztes részek színétől. Ez esetben könnyen meghatározhatók a faanyagot reprezentáló pixelek. Beszűrkült vágásfelületek esetében a szín szerinti elkülönítés sokkal nehezebb feladat.

Az objektív befolyásoló tényezőkön túl a kezelő felkészültsége és alapossága is befolyásolja a felmérés pontosságát. Elmondható, hogy a rendszer az eszközök objektív használatából adódóan sokkal pontosabb mérésre képes, mivel több hibát is kiküszöböl, mint a hagyományos rendszer.

### Irodalomjegyzék

Barrett L. I., Buell J. H., Renshaw J. F. (1941) Some Converting Factors for Mixed Oak Cordwood in the Southern Appalachians, Journal of Forestry, Volume 39, Number 6, pp. 546-554(9)

**1. táblázat** Távolsági hibából származó felmérési hiba mértéke

**Table 1** Rate of measurement error due to distance failure

A kamera távolsága a képsíktól [m]	Távolsági hiba [cm]							
	-30	-20	-15	-10	10	15	20	30
	Felületi eltérés %							
10	5,9	4,0	3,0	2,0	-2,0	-3,0	-4,0	-6,1
15	4,0	2,6	2,0	1,3	-1,3	-2,0	-2,7	-4,0
18	3,3	2,2	1,7	1,1	-1,1	-1,7	-2,2	-3,4
20	3,0	2,0	1,5	1,0	-1,0	-1,5	-2,0	-3,0
25	2,4	1,6	1,2	0,8	-0,8	-1,2	-1,6	-2,4





- Bedő A. (1875) Az erdészet, mint az internationalis statistika tárgya, Erdészeti Lapok, 14. évf., IV. füzet, <http://erdeszetilapok.oszk.hu/01121/pdf/01121.pdf>; Megtekintve: 2013. január 11.
- Keepers C. H. (1945) A New Method of Measuring the Actual Volume of Wood in Stacks, Journal of Forestry, Volume 43, Number 1, pp. 16-22(7)
- Knyaz V., Visilter Y., Zheltov S. (2012) Photogrammetric Techniques for Measurements in Woodworking Industry, <http://henu.geodata.cn/Portal/wenxian/gis%20article/519.pdf>; Megtekintve: 2012. november 5.
- Pásztory Z., Börzsök Z., Boros J., Edelényi M. (2010) Az energetikai faanyagok objektív számbavételének problémái és lehetséges megoldásai; AEE Kutatói Nap, Szolnok
- Schnur G. L. (1932) Converting factors for some stacked cords, Journal of Forestry, Volume 30, Number 7, pp. 814-820(7)

## Biomassza alapú kapcsolt energia előállításának lehetőségei faipari üzemeknél\*

BORSOS Gergely<sup>1</sup>, KOCSIS Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE FMK Gépészeti és Mechatronikai Intézet

### Kivonat

A kutatás célja egy több termelőüzemből álló faipari vállalat 2010-2011-es évi hőenergia mérlegének, valamint kapcsolt energiatermelés lehetőségének vizsgálata volt. Összehasonlítva az üzemek hőszükségletét a kazán által termelt hőmennyiséggel, meghatározásra került a hasznosítható hulladék hőmennyisége is. A kapott eredményeket grafikonok szemléltetik. Összehasonlításra került továbbá a felhasznált biomasszából előállított hőmennyiség költsége a vele megegyező hő előállító földgáz tüzelés költségeivel, bizonyítva ezzel a biomasszában rejlő kedvező lehetőségeket. A kutatás vázolja a kazán által termelt, és a termelőüzemek által időszakosan felhasznált hőmennyiségek ingadozásait és magyarázza azok okait. A kapott eredmények után ismertetésre kerülnek az alkalmazható kapcsolt energiatermelés lehetőségei, majd a kiválasztott Spilling gőzmotorral elvégzett költségszámítások. A kapott pozitív eredmények után javaslatot teszünk az előállított villamos és hőenergia további felhasználására.

**Kulcsszavak:** energiahatékonyság, kapcsolt energia, biomassza, Spilling gőzmotor

## Biomass based coupled energy production possibilities in wood industry

### Abstract

The aim of the research was to study the heat energy balance of a woodworking company with seven production plants in the period 2010-2011 including the possibilities of coupled energy production.

\*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation.

The financial support is gratefully acknowledged.



Comparing the heat demand of the plants and the heat produced by the boiler, the amount of the utility waste heat was also defined. The results of the analysis were illustrated on graphs. The cost of the heat produced using the biomass and the natural gas equivalent were also compared in order to prove the favourable possibilities lying in biomass. The research describes the variations of the heat produced by the boiler and that of periodically used by the plants as well as explains its reasons. Based on the results, the coupled energy production possibilities are reviewed and the cost calculations using the selected Spilling steam engine are described. Leaning on the positive results obtained, a proposal has been made for the utilization of the produced electricity and heat energy.

**Key words:** energy efficiency, coupled energy, biomass, Spilling steam engine

## Bevezetés

A költségtakarékosság mindannyiunkat érintő, szerteágazó és súlyos kérdés. A magas energiaköltség beépül a termék árába, ami rontja piaci helyzetét az alacsonyabb költséggel előállított termékkel szemben. Éppen ezért általános törekvés a gyártás során felhasznált energia minimalizálása, illetve annak hatékonyabb, olcsóbb előállítása. Az általam vizsgált faipari termékek gyártásával foglalkozó üzem villamosenergia-felhasználása a minőség javításának céljából 2008-ban megvalósított beruházás következtében kb. 20%-kal megemelkedett. Ilyen mértékű többletköltséget az előállított termék a jelen gazdasági helyzetben nem bír el. Az üzem energiaszükséglete összetett, villamos illetve hőenergiára egyaránt szükség van. A villamos energiát külső szolgáltató biztosítja, a hőenergiát viszont helyben, egy kéreg-csiszolatpor- gáztüzelésű, termoolaj fűtő kazán állítja elő. A kutatási téma a kapcsolt energia-termelés lehetőségeit vizsgálja azzal a céllal, hogy a megnövekedett villamos és hőenergia-felhasználást valamelyest csökkenteni lehessen.

## Vizsgálati módszerek és eredmények

A termoolaj hevítő kazán adatai (Classen Apparatebau Wiesloch 2007)

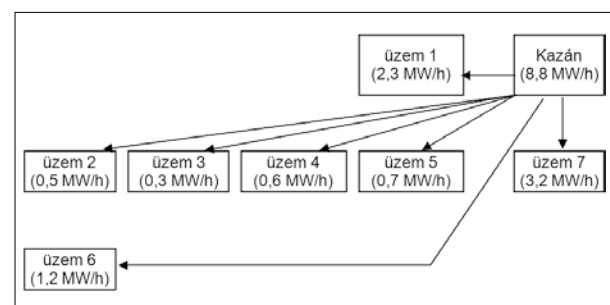
- Típus: Wiesloch, rostélytüzelésű kazán
  - Tüzelőanyag fajták: kéreg, csiszolatpor, földgáz
  - Tüzelőteljesítmény: 14 MW
  - Hőcserélő regiszterek száma: 2 db
  - Hőcserélő regiszterek teljesítménye: 10 MW
  - Tüzelési hőfok: max. 1000°C
  - Szerves hőhordozó (olaj): Shell Thermia B
  - Előremenő megengedett olajhőfok: max. 300°C
- Az üzemi tesztkörnyezet struktúráját az 1. ábra mutatja.

A termoolaj hevítő kazánban elsősorban kéreg (kb. 89%) és csiszolatpor (kb. 11%) eltüzelése történik, gázt gazdasági okokból nem használnak. A felhasznált tüzelőanyagok arányát a 2. ábra, a be-

lölük előállított hőmennyiségek megoszlását a 3. ábra mutatja. Az ábrákon jól látható, hogy bár az eltüzelte csiszolatpor aránya 11%, a belőle előállított hőmennyiség az összesen előállított hőmennyiség 20%-át adja. Ezt az arányt a tüzelési kéregnél jóval alacsonyabb nedvességtartalmával (kb. 10%), nagyobb tiszta fa arányával, valamint nagyobb fajlagos felületével lehet magyarázni. Ezek alapján indokolt lenne a csiszolatpor nagyobb mértékű felhasználása tüzelés céljából, azonban a technológiában működő szárító berendezés fűtését ellátó gáz és/vagy portüzelésű égőt is a – gázt kiváltandó – csiszolatporral fűtik, mely berendezésnek lényegesen nagyobb, közel 20-szorosa a csiszolatpor igénye a kazánéhoz képest. Az üzem termelése során keletkező csiszolatpor mennyisége (óránként kb. 4-5 tonna) nem fedezi a két berendezés 100%-os porellátását.

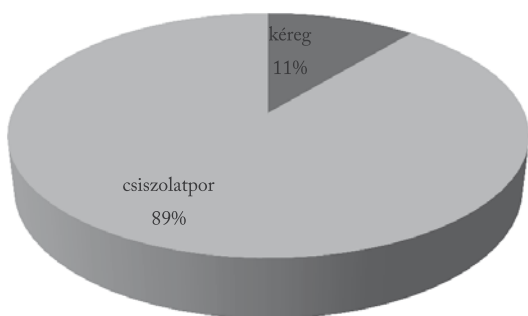
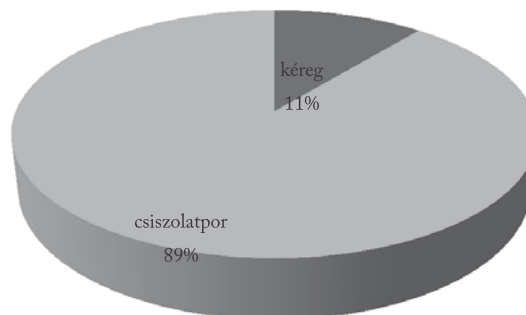
A 1. táblázat a felhasznált tüzelőanyagok fajtáit, tulajdonságait, az eltüzelte mennyiségeket, az abból előállított hőmennyiségeket (a fűtőértékkel kapcsolatos elméleti számításokat Németh G. és tsai 2012 alapján végeztem el), valamint a hőenergia előállításának költségeit ismerteti. Összehasonlításként az ábra jobb oldalán látható, mekkora költsége lenne, ha a kéregből és csiszolatporból előállított hőmennyiséget gázzal állítanánk elő.

Egyértelműen látható, hogy a biomassza eltüzelése évente kb. 24-26 millió forint (23–25%) megtakarítást jelent a gáztüzeléshez képest.

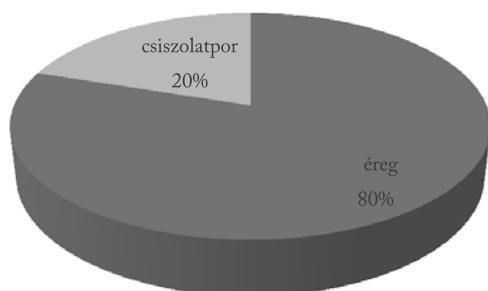
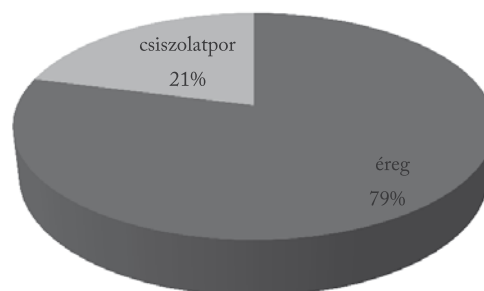


**1. ábra** Az ipari tesztkörnyezet struktúrája

**Figure 1** Structure of the industrial test environment

**Eltüzelt kéreg és csiszolatpor éves mennyiségének aránya 2010-ben**

**Eltüzelt kéreg és csiszolatpor éves mennyiségének aránya 2011-ben**

**2. ábra** Tüzelőanyagok aránya 2010-2011-ben (saját számítás alapján)

**Figure 2** Proportion of the fuels in 2010-2011 (own calculation)

**Kéregből és csiszolatporból előállított hőmennyiség aránya 2010-ben**

**Kéregből és csiszolatporból előállított hőmennyiség aránya 2011-ben**

**3. ábra** Kéregből és csiszolatporból előállított hőmennyiségek aránya 2010-2011-ben (saját számítás alapján)

**Figure 3** Proportion of heat produced from grinding dust and bark in 2010-2011 (own calculation)

**1. táblázat** Összefoglaló táblázat (saját számítás alapján)

**Table 1** Summarizing table (own calculation)

	Kéreg		Csiszolatpor		Gáz	
<b>2010</b>	Eltüzelt mennyiség (t)	11 178	Eltüzelt mennyiség (t)	1 332	Eltüzelt mennyiség (t)	3 780 111
	Átlagos nedv.tartalom (%)	78	Átlagos nedv.tartalom (%)	10	Átlagos nedv.tartalom (%)	
	Átlagos számolt fűtőérték (MJ/kg)	8,139	Átlagos számolt fűtőérték (MJ/kg)	16,852	Átlagos számolt fűtőérték (MJ/m <sup>3</sup> )	34
	Beszerzési ár, nettó (Ft/t)	5 734,56	Beszerzési ár, nettó (Ft/t) (keletkezik)	0,00	Beszerzési ár, nettó (Ft/t)	23,48
	Össz. költség, nettó (Ft)	<b>64 101 539</b>	Össz. költség, nettó (Ft)	0	Össz. költség, nettó (Ft)	<b>88 757 017</b>
	Termelt hőmennyiség (MJ):	<b>90 657 167</b>	Termelt hőmennyiség (MJ):	<b>22 443 768</b>	Termelt hőmennyiség (MJ):	<b>113 100 935</b>
	Termelt hőmennyiség összesen (MJ):	<b>113 100 935</b>			<b>113 100 935</b>	
<b>2011</b>	Eltüzelt mennyiség (t)	13 174	Eltüzelt mennyiség (t)	1 686	Eltüzelt mennyiség (t)	4 538 742
	Átlagos nedv.tartalom (%)	71	Átlagos nedv.tartalom (%)	9	Átlagos nedv.tartalom (%)	
	Átlagos számolt fűtőérték (MJ/kg)	8,181	Átlagos számolt fűtőérték (MJ/kg)	16,861	Átlagos számolt fűtőérték (MJ/m <sup>3</sup> )	34
	Beszerzési ár, nettó (Ft/t)	5 813,62	Beszerzési ár, nettó (Ft/t) (keletkezik)	0,00	Beszerzési ár, nettó (Ft/t)	22,63
	Össz. költség, nettó (Ft)	<b>76 589 694</b>	Össz. költség, nettó (Ft)	0	Össz. költség, nettó (Ft)	<b>102 711 733</b>
	Termelt hőmennyiség (MJ):	<b>107 353 698</b>	Termelt hőmennyiség (MJ):	<b>28 445 465</b>	Termelt hőmennyiség (MJ):	<b>135 799 163</b>
	Termelt hőmennyiség összesen (MJ):	<b>135 799 163</b>			<b>135 799 163</b>	

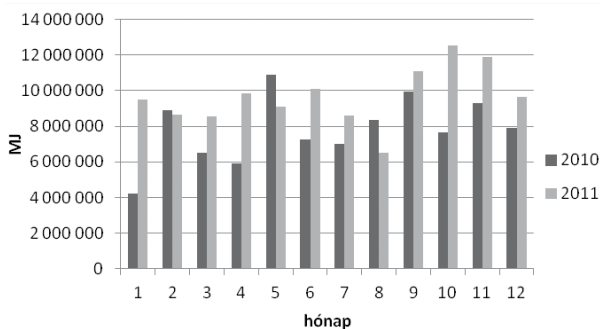
Az üzemek egyidejű termelése esetén a szükséges hőmennyiség kb. 8,8 MWh, azonban a folyamatosan változó piaci igények miatt az egyidejűleg termelő üzemek száma 3-5 között változik, rendszertelenül. Az üzemek működhettek egyidejűleg, eltérő időtartamban illetve átfedéssel is (Lang M. és tsai 2009). Mivel a hét különálló üzem hőszükségletének üzemenkénti vizsgálata nem volt lehetséges (nem áll rendelkezésre elegendő információ az üzemek menetéről), az összes, általuk elvont hőmennyiség lett figyelembe véve. Az üzemek összes hőszükségletét a 4. ábra mutatja.

Amennyiben a kazán által termelt hőmennyiség több a termelőüzemek összes hőszükségleténél, hulladék hőmennyiség keletkezik. A termelőüzemek éves hőszükségletének és a hulladék hőmennyiségek<sup>1</sup> havi változását 2010-2011-ben az 5. ábra mutatja.

A termoolaj hevítő kazán által termelt és a termelőüzemek által elvont hőmennyiségek arányainak 2010-2011-es változását a 6. ábra mutatja.

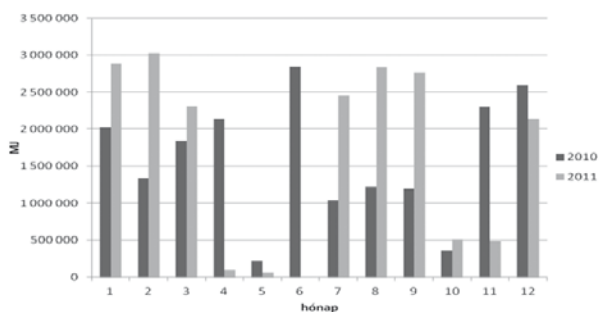
#### A termelőüzemek által elvont hőmennyiség változásának főbb okai:

- tüzelőanyag minőségének ingadozása (magasabb nedvességtartalmú, sok földet tartalmazó



4. ábra Termelőüzemek összes hőszükséglete 2010-2011-ben (saját számítás alapján)

Figure 4 Total heat demand of the plants in 2010-2011 (own calculation)



5. ábra Hulladék hő mennyiségének változása 2010-2011-ben (saját számítás alapján)

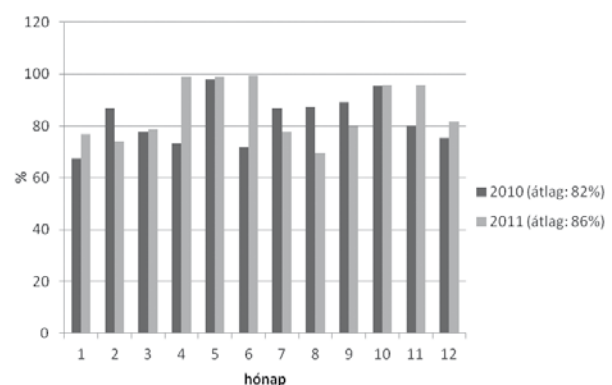
Figure 5 Variation in the amount of waste heat in 2010-2011 (own calculation)

tüzelőanyag csak nehezen vagy egyáltalán nem ég el, leesik a hőfok),

- termelőüzemek egyidejű menete (Több gyártósor egyidejű termelése esetén jelentősen megnő a hőelvétel. Az egyidejűleg termelő gyártósorok számát a piaci helyzet, a megrendelések határozzák meg.),
- termelőüzemek termelési sebessége (Nagyobb gyártási sebesség nagyobb mértékű hőelvonással jár.),
- külső (környezeti) hőmérséklet (Alacsony, 0°C alatti környezeti hőmérséklet esetén a termoolaj vezetékben jobban hűl az olaj.),
- a hőcserélő csőkötegeinek tisztasága (A felrakódott, ráégett por, hamu, korom szigetelő réteget képez. A csövek nem megfelelő tisztítása következtében a hatásfok jelentősen csökken),
- kezelőszemélyzet reakcióképessége a változásokra.

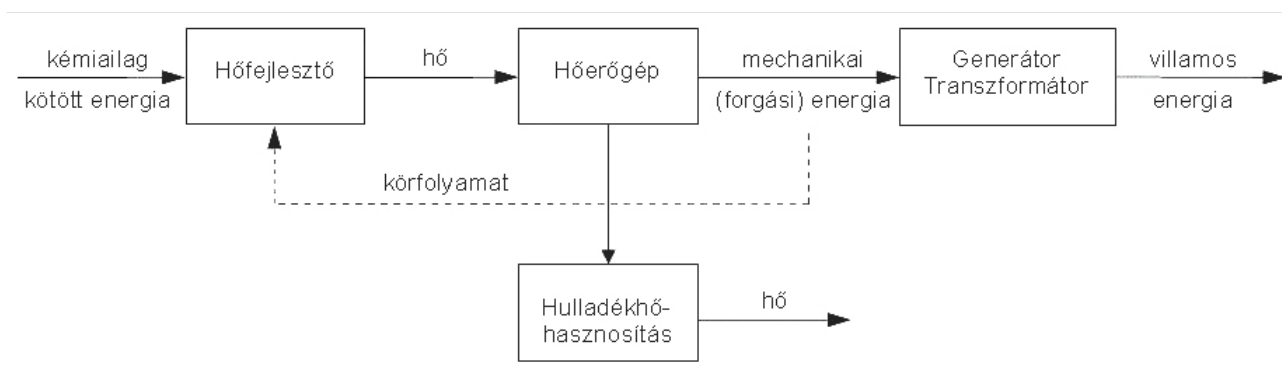
#### Kapcsolt energiatermelés lehetőségei a faiparban

Ahhoz, hogy a hőenergia előállítása még gazdaságosabb legyen, elengedhetetlen egyrészt a túltermelés minimalizálása, másrészt a plusz hőmennyiség további felhasználása. Megoldást nyújthat a kazán folyamatos, teljes, egyenletes leterhelése is, amennyiben fennáll a kapcsolt villamosenergia-termelés lehetősége, és annak racionális felhasználása a termelés során (figyelembe véve természetesen az üzemekben keletkező faalapú melléktermék mennyiségét, illetve az esetlegesen szükséges energetikai célú faalapanyagok beszerzési forrásait és logisztikai költségeit is). A kapcsolt energia előállításának célja a tüzelőberendezés jobb kihasználása, a gazdaságosabb hő- és villamosenergia-termelés. A termelt villamos energiát visszatáplálhatjuk a rendszerbe,



6. ábra A kazán által termelt és a termelőüzemek által elvont hőmennyiségek arányainak időszakos változása 2010-2011-ben (saját számítás alapján)

Figure 6 Ratio of the heat produced by the boiler and the heat used by the plants in 2010 and 2011 (own calculation)



**7. ábra** Kapcsolt energiatermelés folyamata (Lang M. és tsai 2009)

**Figure 7** The process of the coupled heat production

de fel is használhatjuk például a csarnokok világításához (Lang M. és tsai 2009).

A kapcsolt energiatermelés egyszerűsített folyamatát a 7. ábra mutatja.

Kapcsoltan termelt energia: közös technológiai berendezésben, azonos tüzelőanyagokkal, legalább 65%-os energetikai hatásfokú energiaátalakítási folyamattal előállított villamos és hőenergia (Lang M. és tsai 2009).

#### Kapcsolt energiatermelés lehetőségei (Lang M. és tsai 2009)

- Gőz munkaközegű (hulladékhő a kondenzátorból kilépő gőzben):
  - » ellennyomású,
  - » elvételes kondenzációs,
  - » kondenzációs (részleges és teljes hőkiadással).
- Gázturbinás kombinációk (hulladékhő a gázturbinából kilépő füstgázban)
  - » forróvízkazán,
  - » gőzkazán,
  - » ellennyomású gőzturbina,
  - » elvételes kondenzációs gőzturbina.
- Gázmotoros kombináció (hulladékhő a gázmotorból kilépő füstgázban, kenőolajban és hűtővízben).
- A kapcsolt energiatermelésnél lehetőség van a szerves Rankine-ciklus (ORC = Organic Rankine Cycle) alkalmazására is, ahol munkaközegként nagy molekulású szerves folyadékot használunk (termoolaj).

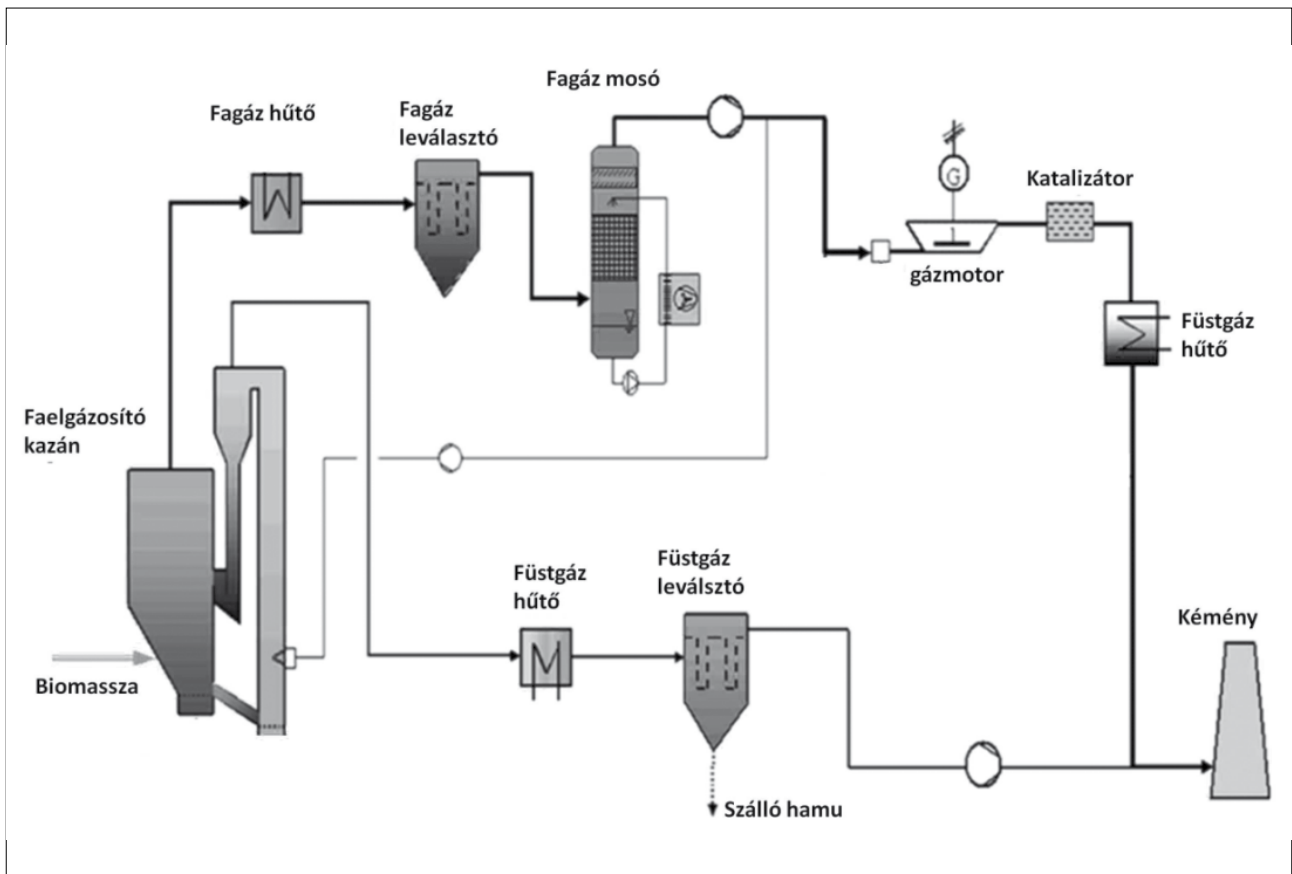
A kogenerációs rendszerek egy folyamaton belüli azonos primerenergia bázison két különböző energiafajta (villamos és hő) előállítását jelenti, mely megvalósulhat gázmotorral és turbinával. A kogeneráció hatékony megoldás azok számára, akik egyidejűleg alkalmaznak hő- és villamos energiát. A kogeneráció célja kettős. Egyrészt a kapcsolt energiatermelés nagyobb összen energetikai hatásfokkal

valósítható meg, ami jelentős primerenergia megtakarítást, ezáltal költségcsökkentést eredményez. Másrészt a kevesebb tüzelőanyag-felhasználásnak köszönhetően csökken a szennyezőanyag (CO<sup>2</sup>) kibocsátás, ami környezetvédelmi előnyt jelent.

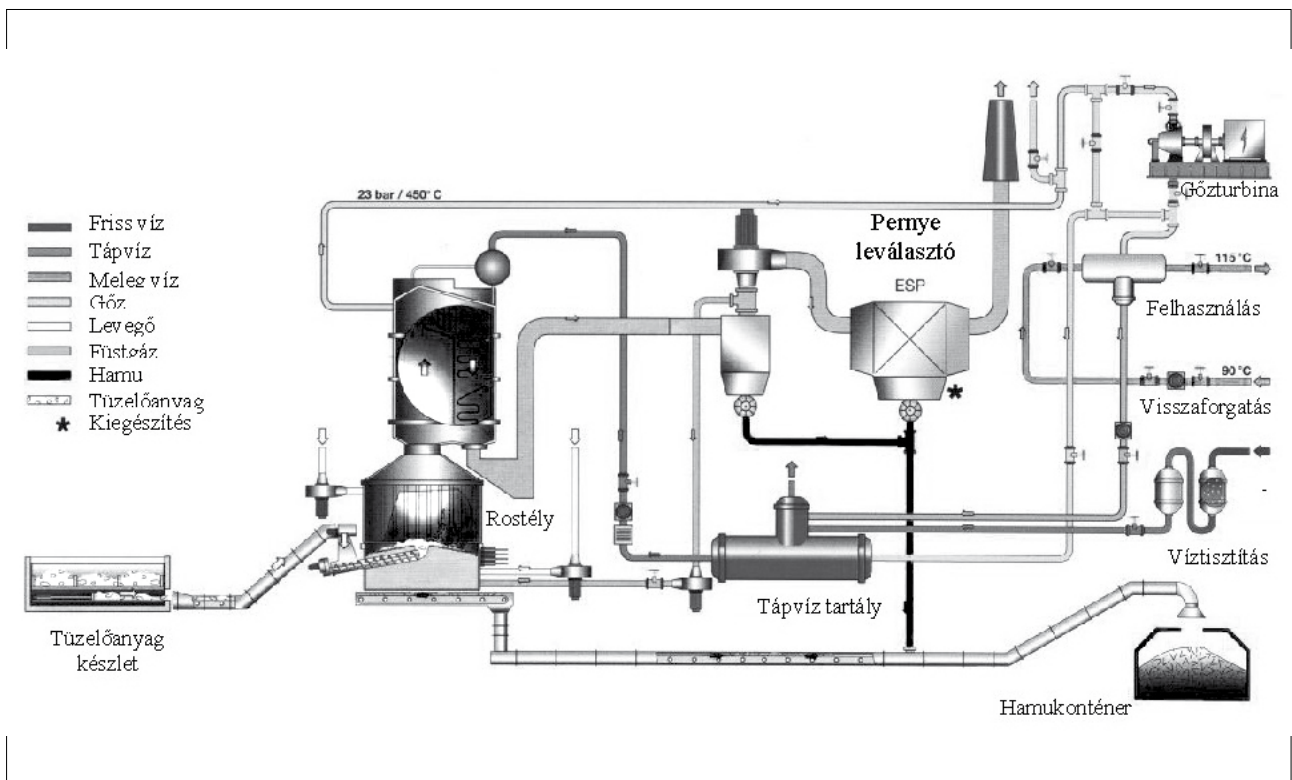
A gázmotor kifejezés azt jelenti, hogy ugyanaból az energiaforrásból, azaz a gázt gázmotorban elégetve, egy időben állítunk elő a gázmotor által hajtott generátorral villamos energiát és a gázmotor hőleadását hasznosítva hőt magas hatásfokkal. Általánosságban, gyártmánytól függően a megtermelt villamos és hőenergia aránya 40/60%. A gyártmányok teljesítménytartománya néhány kW-tól néhány MW-ig terjed. A gázmotoros kapcsolt energiatermelést (8. ábra) elsősorban azokon a felhasználási területeken célszerű alkalmazni, ahol egyidejűleg jelentkezik villamos energia, fűtési, illetve hűtési igény, és a berendezés legalább évente 6500 órát üzemel. Az így termelt villamos energiával vásárolt villamos energiát válthatunk ki, vagy a fölösleget kedvező áron értékesíthetjük a helyi áramszolgáltatónak. A termelt hőt (amely ~90°C-os víz) használati melegvíz előállítására fordíthatjuk, télen fűthetünk vele, vagy akár ipari és mezőgazdasági hőigényünket fedezhetjük vele. A gázmotorok üzemanyaga alapvetően földgáz, de lehetőség van biogáz vagy propángáz használatára is (Johann G. 2005).

A gőzturbinák (9. ábra) olyan szerkezetek, melyek általában ipari méretekben állítanak elő villamos energiát – a keletkezett nagynyomású gőzből. Többféle módszer létezik a fűtéshez használt üzemanyag és a turbina meghajtási módja szerint. Kombinált üzemben, vagyis mikor a gáz és gőzturbinákat kombináljuk, viszonylag magas, akár 70–90%-os hatásfokot is el lehet érni. A hagyományos gőzturbinák hatásfoka azonban ennél alacsonyabb, 30–50% közötti (Johann G. 2005).





8. ábra Kapcsolt energiatermelés gázmotorral (Johann G. 2005)  
Figure 8 Cogeneration by gas engine



9. ábra Kapcsolt energiatermelés gőzturbinával (Johann G. 2005)  
Figure 9 Cogeneration by steam turbine

Egy speciális gőzerő folyamaton alapuló lehetőség, mely egy hagyományos dugattyús gépből lett kialakítva. A hengerfejébe gőzt vezetünk és a gőz – miközben a dugattyúkat lefelé tolja – a gép tengelyén munkát végez. A Spilling gőzmotor (10. ábra) előnye a fent említett alternatívákhoz képest a kb. 86-87%-os hatásfoka és a viszonylag alacsony beszerzési költség, minek köszönhetően rövidebb idő alatt megtérül. Egy hasonló teljesítményű gőzturbina bekerülési ára közel háromszorosa a Spilling gőzmotorénak, igaz, hatásfoka akár 90% is lehet (Hegedűs 2006). *A Spilling gőzmotor előnyei miatt a költségszámításhoz ez a megoldás lett alapul véve.*

Energetikai szempontból további hatékony megoldást nyújthatnak a **trigenerációs rendszerek**. A trigeneráció a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés kiegészítve abszorpciós hűtessel. Ez azt jelenti, hogy az ilyen gázmotoros fűtő-hűtő-áramtermelő egységet sokoldalúbban ki lehet használni. A villamosenergia-termelés mellett, amely a gázmotor-generátor egységgel történik, a hasznosítható hőt nem csak fűtésre, hanem hűtésre is használhatjuk. A hűtési teljesítmény a hőteljesítmény 70%-a. Ennek eredményeként a villamosenergia-termelés gyakorlatilag az egész év folyamán 7800-8200 órán át folyamatosan fenntartható (Lang M. és tsai 2009).

A trigenerációs rendszerek ismertetésére ez az írás nem tér ki

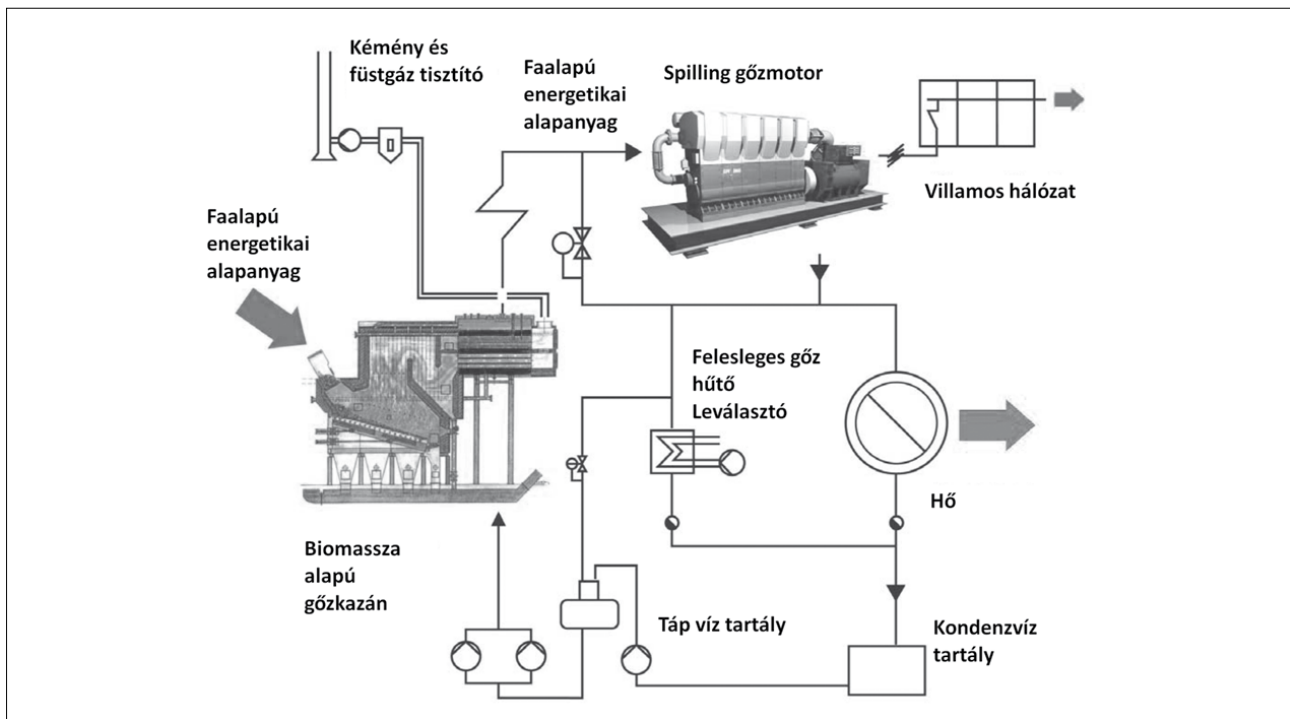
### Költségszámítás spilling gőzmotoros kapcsolt energiatermelés esetén

*A Spilling gőzmotoros rendszer fő elemei:*

- biomassza tüzelésű kazán (adott)
  - » tüzelőanyag adagoló
  - » pernyeleválasztó multiciklon
  - » füstgáz elszívó ventilátor
- tápvíz ellátás
  - » szivattyú, vízkezelő berendezés
  - » gáztalanító tápvíz tartály
  - » kondenzvíz tartály
- Spilling gőzmotor (3/3 H12 T.S)
  - » gőzmotor
  - » villamos turbina
- generátor (400 V/50 Hz), 200 kW

*Járulékos költségek:*

- Spilling gőzmotor telepítés
  - » csőszerelések
  - » szerelvények, leválasztók
  - » szabályzók
- egyéb
  - » szállítás
  - » összeszerelés
  - » gőztechnológiai rákötések
  - » tervezés



**10. ábra** Kapcsolt energiatermelés gőzexpánziós Spilling motorral (Hegedűs 2006)

**Figure 10** Cogeneration by Spilling engine

A gazdaságos kapcsolt energiatermelés feltétele, hogy folyamatosan rendelkezésünkre álljon kellő mennyiségű hulladék hőmennyiség, melyet hasznosítani lehet. A 2010-2011-es évi hulladék hőmennyiségeket a 2. táblázat mutatja.

A 2. táblázatban jól látható, hogy rendelkezésre álló hulladék hőmennyiség ugyan minden hónapban keletkezik, azonban annak mennyisége egyenlőtlenül oszlik meg. Az egyenlőtlen eloszlás a változó piaci helyzetből fakadóan, a folyamatosan változó számú, egyidejűleg termelő üzemek számának ingadozása okozza.

*Az ingadozástól eltekintve a számítás alapjául szolgáljon a 2011-es évi 19,5 millió MJ hulladék hőmennyiség (2. táblázat).*

**Előállítható hőmennyiség: 19,5 millió MJ** → kb. 2.760 tonna kéreg → 16.043.880 Ft.

700 kW-os Spilling gőzmotorral, 200 kW-os generátorral számolva:

**Villamos energia megtakarítás:** 1.672.000 kWh villamos energia/év → Az üzemek éves összes villamos energiaszükségletének 5%-a.

**Hőenergia megtakarítás:** 3.419.240 kWh hőenergia/év (12.309.264 MJ) → Az üzemek éves összes hőenergia szükségletének 9%-a.

Az összes megtakarítás: 48.549.596 Ft

*A keletkező villamos energia felhasználásának lehetőségei:*

- gyártócsarnokok, szociális épületek világítása
- szociális épületek számítógépeinek ellátása
- visszatáplálás a villamos hálózatba

**2. táblázat** Hulladék hőmennyiségek a 2010-2011-es években (saját számítás alapján)

**Table 2** Waste heat amount in 2010 and 2011 (own calculation)

Hulladék hőmennyiségek a 2010-2011-es években (MJ)		
Hónap/év	2010	2011
1	2 023 799	2 884 518
2	1 337 503	3 025 523
3	1 841 712	2 314 674
4	2 139 978	96 575
5	216 199	61 646
6	2 843 009	2 627
7	1 037 459	2 452 377
8	1 215 540	2 835 686
9	1 193 898	2 765 346
10	360 269	509 891
11	2 306 143	484 978
12	2 596 292	2 141 852
<b>Összesen:</b>	<b>19 111 801</b>	<b>19 575 694</b>

*A keletkező hő felhasználásának lehetőségei:*

- technológiai meleg víz előállítás
- gyártócsarnokok, szociális épületek fűtése, öltözők melegvíz-ellátása

### Összefoglalás

A kutatás célja egy faipari termelőüzem energiafelhasználásának csökkentése, biomasszán alapuló kapcsolt energia termelésének lehetőségével. A keletkező hővesztés csökkentésének egyik lehetősége a hulladék hőt hasznosító kapcsolt energiatermelés, melynek egyik leggazdaságosabb megvalósítását a Spilling gőzmotor jelenti. Amint a számítások is mutatják, a Spilling gőzmotorral előállított villamos energia csupán 5%-a, a hőenergia pedig 9%-a az üzemek éves villamos- és hőenergia-szükségletének. A látszólag kis megtakarítások ellenére a kapcsoltan termelt villamos és hőenergia hasznosítható a termelés során, technológiai meleg víz előállításra vagy gyártócsarnokok, szociális épületek világítására. A megtérülés ugyan 11-13 év, azonban ha csak az évente megtakarított 48,5 millió forint összeget vesszük figyelembe, melyet fejlesztésre, karbantartásra, stb. lehet fordítani, aminek költségei amúgy az előállított faipari terméket terhelik, a beruházás már elérte célját.

### Közlemény

A kutatás a „Környezettudatos energiahatékony épület” című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt, valamint a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen című TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális alap társfinanszírozásával valósult meg.

### Irodalomjegyzék

- Classen Apparatebau Wiesloch (2007) Termoolaj-hevítő berendezés kezelési útmutató
- Hegedűs A. (2006) Spilling expanziós motor magyarországi projekt megvalósítása, Energia-gazdálkodási Tudományos Egyesület, előadás
- Geyer J. (2005) Biomass district heating systems. Europaisches Zentrum für Erneuerbare Energia Güssing GmbH. Güssing
- Lang M., Varga M., Németh G. (2009) Faipari melléktermékek hasznosítása kapcsolt hő- és villamos energia fejlesztésére. „Fa, mint megújuló energiaforrás” konferencia, innoLignum, Sopron, 2009. szeptember 4.
- Németh G., Varga M., Kocsis Z. (2012) Energy demand of briquetting and pelleting of wood



based by-product. In: Electronic proceedings of the “International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint”. Sopron, Hungary. March 2012. pp. 393-400. ISBN 978-963-19-7352-5

Németh G., Varga M., Kocsis Z. (2012) Energy balance of pelleting of wood based by-product.

8th International Science Conference: “Chip and Chipless Woodworking Processes”, September 2012. pp. 247-253, (in Slovene). ISBN 978-80-228-2385-2

## Fa- és agripelletek tüzeléstechnikai tulajdonságaival összefüggő kutatások alapjai\*

KONRÁD Krisztina<sup>1</sup>, NÉMETH Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE FMK Gépészeti és Mechatronikai Intézet

### Kivonat

A hő előállítására jó alternatívát teremthet hazánkban a pellet tüzelés. Míg a fapellet tüzelés jól ismert, egyre szélesebb körben alkalmazott tüzelési mód, a mezőgazdasági melléktermékekből készülő, úgynevezett agripelletek tüzelése olyan kérdéseket vet fel, amelyek a fapellet tüzelésnél nem állnak fenn. Ezek a különbségek a fizikai, kémiai és elemi összetételre vezethetők vissza. Jelen cikkben a különböző pellet típusokhoz kapcsolódó kutatásokba, valamint egyes irodalmi források elemzésébe nyújtunk betekintést.

**Kulcsszavak:** energetika, pellet, agripellet, pellet tüzelés

## The basics of research related to firing properties of wood pellets and agri-pellets

### Abstract

The pellet firing can create a good alternative for the thermal power generating in our country. We know many things about wood pellet firing, and we use it many places. The agri-pellet made from agriculture origin commodity. There are many differences between the two types of pellets, and the agri-pellet firing raises many questions. These differences come from physical, chemical and elemental composition. We would like gives insights into initial phase of research and analysis related to different types of pellets, and the available literature sources in this article.

**Key words:** energetic, pellet, agri-pellet, pellet combustion

### Bevezetés

\*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.



Megújuló energiaforrásnak tekintjük azon energiaforrásokat, melyeket a természet saját maga állít elő, vagy a természet segítségével az ember állít elő, folyamatosan újratermelődik, ezáltal mindig rendelkezésre áll. Köztudott, hogy az energiaellátás biztonságát fenyegető, kimerülőben lévő földgázkészlet (a teljes primerenergia-felhasználáson belül mintegy 42%-ot tesz ki) közel végesnek mondható, mely a megújuló energiaforrások használatát felértékeli. Annak ellenére várható felértékelődés, hogy sok esetben nagyobb beruházást igényel, mint a hagyományosnak mondott fosszilis (földgáz, kőolaj, szén) energiahordozók esetén. Hazánk sajátosságai miatt öt fő megújuló energiaforrás térnyerésével számolhatunk hosszabb-rövidebb távon: a biomassa, a földhő, a nap, a szél és a víz.

Hazánkban az évenként keletkező elsődleges biomassa összömege 54 millió tonna (85%-a mezőgazdasági termelésből ered), amely évente 251 PJ potenciális energiaforrást jelent. A művelt földterületeken évente átlagosan 25 GJ/ha elsődleges energiahordozó keletkezésével lehet számolni (a szélső értékek 10–100 GJ/ha, termelési kultúrától, művelési módtól függően) (Barótfi, 2003).

Magyarország elméleti biomassa potenciálját egyes tanulmányok (pl.: Nemzeti Energiastratégia, 2011) 200–330 PJ/évben határozzák meg. Természetesen az elméleti potenciál sokkal nagyobb, mint amit valójában elő tudnánk állítani. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) 2006-os felmérése alapján a biomassán alapuló „fenntartható potenciál” 145,5 PJ.

A megújuló energiaforrásokból történő villamosenergia-termelés 2011-ben 2689 GWh volt, amely az előző évhez képest több mint 10%-os csökkenést jelent (2011-ben 6,27% volt, míg 2010-ben 7,12%). Ez a biomassa-felhasználás csökkenéssel magyarázható, hiszen minden más megújuló energiaforrás aránya növekedést mutat. Míg 2010-ben ~2050 GWh villamos energiát állítottak elő biomassa alapon, addig 2011-ben ez az adat csak 1539 GWh (a megújuló villamos energia mixen belüli részaránya így is 57%). A háttérben a biomassa alapú vegyes tüzelés csökkenése (Bakonyi és részben a Mátrai Erőmű Zrt.), valamint a tisztán biomassa tüzelésű erőművek termelés-szüneteltetése áll (Szakolyi Erőmű, Borsodi Hőerőmű) (Németh és tsai., 2012).

Ahhoz, hogy megfelelő energiapolitikát foly-

tassunk és meg tudjuk valósítani a 2020-ra kitűzött célokat (itt elsősorban – a Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervben megfogalmazott – villamosenergia-előállításán belüli 14,65%-os megújuló részarányra kell gondolni) szemléletváltásra van szükség a megújuló energiaforrások területén is.

Ki kell emelni, hogy a megújulókkal történő energiaelőállításán belül legnagyobb részarányban megjelenő faalapú energiahordozók a kimeríthető megújuló energiaforrások közé sorolandók, ellentétben például a széllal vagy a nappal. Ezért szükséges, hogy az energetikai felhasználás mellé fenntartható erdőgazdálkodás is kapcsolódjon. Ez nem csak azt jelenti, hogy tartamos erdőgazdálkodást kell végeznünk, hanem azt is, hogy az erdő fennmaradása mellett ismétlődő felhasználat valósuljon meg, így a mindenkori emberi igények kielégítése ne okozzon problémát, segítse a természetes CO<sub>2</sub> körfolyamat és az emberiség fennmaradását.

#### **A pellet meghatározása**

A különböző biomassa hulladékokból tömörítési eljárásokkal, kötőanyag nélkül előállított nagy fűtőértékű, a tűzifánál nagyobb energiasűrűségű energetikai alapanyagok közé sorolandó a pellet. Pelletálással 6–14 mm átmérőjű és 2–4 cm hosszúságú terméket hozunk létre 1000–1500 bar körüli nyomás segítségével.

A leggyakoribb alapanyag a faalapú por-forgács tekinthető. A fapellet tisztaságát annak köszönheti, hogy a fának csak a fatest belső – kéreg, levél valamint környezeti és gyártási eljárásokkal összefüggő, szennyezőanyagoktól mentes – részét préselik össze, melynek hamutartalma 1% alatti. Természetesen a gyakorlat azt mutatja, hogy például kéreg kiküszöbölésére értelemszerűen nincs lehetőség a fűrésziparból származó por-forgács alapanyag esetén, ekkor azonban nagyobb hamutartalommal kell számolnunk.

Természetesen a mezőgazdasági termelés során keletkező növényi anyagok, maradékok, hulladékok is alkalmasak pelletálásra. A fával ellentétben sokkal gyorsabb, éves „vágásfordulóval” rendelkeznek, azonban az intenzív növekedés miatt több ásványi anyagot építenek magukba. A „betakarítás” során nagy mennyiségben kerül az energetikai célra szánt anyag közé földmaradvány is, ezért a lágyszárú növényekből készült pellet hamutartalma jóval magasabb lesz (3–12%), mint a fából készített fapelleté. Mindezek azt eredményezik, hogy az agripelletek



égetési tulajdonságai nagymértékben eltérnek a faalapú pelletektől.

A fapelletek esetén Európában és hazánkban számos szabvány (ilyen például az MSZ EN 15961-2, mely a fapellet nem ipari felhasználásáról szól) és irányelv (ilyen a pellet minőségi tulajdonságait lefektető ENplus, mely az EN 14961-2 szabványon alapul ugyan, de számos pelletáláshoz, és annak tulajdonságához köthető szabvány is megjelenik benne) fogalmazódott meg.

#### **A pelletálásról és a kutatások célkitűzéseiről néhány gondolatban**

A biomassza, mint szilárd energiahordozó tüzelésével energia – elsődlegesen hő – állítható elő. A szántóföldi növénytermesztés melléktermékei közül a különböző gabonafélék szalmái, a kukoricacsutka, kukoricaszár, valamint néhány egyéb növény szármaradványa tüzelési célokra is felhasználható. Ezek a melléktermékek megfelelő előkészítés után akár pelletálhatók is.

Jelenleg Magyarországon legnagyobb mennyiségben a faalapú melléktermékből állítanak elő pelletet energetikai célokra.

A faalapú pelletek jellemző, racionális felhasználási területei:

- falufűtők, távhő
- központi fűtési rendszerek (társasházak, kisebb lakóközösségek, intézmények)
- egyedi fűtés (családi házak).

A pellet előállításának számos előnye és hátránya – melyet gyakran a szakirodalom nem hangsúlyoz ki – is megfogalmazható. Természetesen minden előny és hátrány sokszor csak nézőpont kérdése, hiszen lehet valami környezetkímélő megoldás, ugyanakkor nagyon költséges. A teljesség igénye nélkül a főbb jellemzőket az alábbiakban foglaltuk össze.

#### *Előnyök:*

- Nagy térfogat-sűrűségű anyagot kapunk a pelletálás folyamatának végén, mely a kiinduló alapanyaghoz (por-forgács) képest így gazdaságosabban kezelhető (szállítás, tárolás).
- Előállítása és felhasználása könnyen automatizálható.
- A saját tárolóval rendelkező pellet tüzelőberendezések akár napokig is működnek emberi beavatkozás nélkül, így a „komfortfokozata” közelít a földgáz felhasználásánál megszokotthoz.
- A közvetlenül a por-forgács tüzelése során fel-

lépő tüzeléstechnikai problémákat minimálisra lehet csökkenteni, hiszen csak a morzsolódásból (mely a mechanikai behatásokkal szembeni alaktartósságra utal) képződik minimális finom szemcsés anyag a beadagoláskor. Azt azonban meg kell jegyezni, hogy a tüzelőberendezésbe történő beadagoláskor keletkező apró-szemcsés anyag arányát közelítőleg sem ismerjük. Nem tudjuk, mi történik egy általános beadagoló csiga működéséből fakadóan. A pellet mechanikai hatásokkal szembeni ellenálló képességének vizsgálatát az MSZ EN 15210-1 szabvány írja le, és ezt többnyire vizsgálják is. A vizsgálat itt a szállításból, mozgatásból adagolóba történő beadagoláskor fellépő „mechanikai roncsolódás” vizsgálatából áll. Azonban egy lényeges pont hiányzik a szabványból, méghozzá pont az, hogy a tüzelőberendezés adagolója, behordó csigája esetén milyen szintű morzsolódás fog történni. Intézetünkben történő kutatások egyik célja éppen az, hogy erre is próbáljunk választ adni.

#### *Hátrányok:*

- Villamos energiát viszünk be és sok esetben hőt kell közölnünk az előállítás során. Ha nedves az alapanyag, nagy hőmennyiségre van szükség a szárítás során (amennyiben az alapanyag nedvességtartalma 10-12% felett van). Az intézetünkben történt korábbi vizsgálataink – a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006 projekt „A faalapú hulladékok brikettálási és pelletálási energiamérleg meghatározása” című altéma – alapján megállapítható, hogy az alapanyag energiataralmához képest az energiabevitel (villamos és kalorikus) – a gyártás során – mintegy 8-12%.
- Felhasználása speciális tüzelőberendezést, égőfejet igényel.
- Sok esetben a feldolgozásig – por-forgács formában – hosszú szállítási útvonalat tesz meg az alapanyag.
- Az ára a tűzifa árának akár a kétszerese is lehet.
- Nem fás szárú biomasszából előállított pellet esetén tüzeléstechnikai problémák adódnak ugyanúgy, mint ezen anyagok hagyományos – pelletálás nélküli – tüzelése esetén.

További lényeges célkitűzésünk hogy a magyarországi gyártóktól begyűjtött fa- és agripelleteket, másrészt saját és gyártói „receptúrák” alapján, a

kutatás részeként gyártott kontrollmintákat szeretnénk bevizsgálni (fűtőérték, hamutartam, sűrűség, halmazsűrűség, morzsolódási hajlam, egyéb tulajdonságok), különös tekintettel a minták energetikai tulajdonságaira.

### Az agripellet tüzelés kihívásai

A biomassa alapú tüzelőanyagok esetén a tömörítési eljárásokkal (pl. a pelletálással) a térfogatsúlyt változtatjuk elsősorban. A fő tüzeléstechnikai jellemző, a fűtőérték esetén az alapanyaghoz képest nagymértékű változást nem tapasztaltunk, hiszen az alapanyag tulajdonságát elsősorban az elemi összetevők aránya (C, H, O, N, S) szabja meg, amely adott, a pelletálás során ezen nem változtattunk. Természetesen befolyásoló tényező a szilárd égéstermékek (lehulló salak, szálló hamu) aránya és az egyéb elemek tartalma is (Si, Na, K, Ca, Mg, stb.). A füstgáz összetételét a felsoroltakon kívül a tüzelőberendezés felépítése, üzemelési paramétere is jelentősen meghatározza.

Az égési tulajdonságokat elsősorban tehát a szén-, a hidrogén- és az oxigéntartalom fogja befolyásolni, míg a kén és a klór a korrózióért, környezet-szennyezésért felelős. Bár a kén a hőfejlesztésben segít, de korrodálja a kazán belsejét, a környezetet pedig szennyezi. Nem mellékesen a kén-dioxid (SO<sub>2</sub>) az atmoszférában vízzel kénessavat fog alkotni (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), melynek egyértelmű megnyilvánulása a savas eső.

A lágyszárú növények esetén nagyságrenddel magasabb a kén jelenléte (pl. fenyő esetén 0,015% szárazanyag-tartalomhoz képest; míg kínai nád vagy energiafű esetén ez az érték 0,15%). Ezzel, és a kálium, valamint a szilícium nagy mennyiségével (az ezen anyagokhoz kapcsolódó alacsony olvadáspontja miatt) magyarázható elsősorban a lágyszárú biomassa nehezebb energetikai hasznosítása. Szintén problémát jelent a klór – szintén nagyságrenddel – nagyobb mennyisége, hisz ez a káliummal reakcióba lépve a hőcserélők felületén kondenzálódik, ami viszont ront a hőátadási tényezőn, így a rendszer hatásfokán.

A fa esetében a hamutartalom általában 1% alatti (kivétel, ha nagy a kéregarány, hiszen kéregtartalom növekedésével nő a hamutartalom), míg lágyszárúak esetén ez az érték akár 10%-nál is magasabb arányú lehet. A legnagyobb probléma ott kezdődik, hogy a hamu olvadáspontja a fás szárú növények esetén 1100-1400 °C körül alakul, míg lágyszárúaknál jellemzően 850-950 °C. Ha nagy a

káliumtartalom, ez az érték akár 750 °C alá, 600 °C-ig is lecsökkenhet. Az alacsony hamu olvadáspont szintén nehezíti a megfelelő tüzeléstechnikai paraméterek meghatározását (Ivelics R., 2006; Hein Et Kaltschmitt, 2004; Marosvölgyi et al. 2005)

Az agripellet tüzelés a kémiai összetétele miatt sok kihívást jelent a kazángyártóknak. Bár egyes gyártók már megjelölnék keverési arányokat, amelyeket engedélyeznek fapellet használat mellett, de általában elmondható, hogy a fapellet égetésére fejlesztett kazánok garanciájának elvesztésével jár az agripellet tüzelés. A keverési arányokat szakirodalmi kutatásokkal és mérésekkel nem támasztották alá, ezért a gyártók tapasztalati úton határoznak meg maximális keverési arányokat.

A tüzelés során felmerülő legfontosabb – lágyszárúak alkalmazása esetén – problémákat Dragoman (2007) a következőképpen foglalta össze:

- magas hőmérsékleten a magasabb klórtartalom miatt korrózió alakul ki,
- lényegesen magasabb kálium- és szilíciumtartalmára visszavezethető salakképződés,
- lényegesen magasabb károsanyag-kibocsátással – elsősorban NO<sub>x</sub> –, illetve porképződéssel kell számolni.

Az agripelletek egyik fő alapanyaga a gabonafélék aratása után visszamaradó szármaradvány, a szalma. Ugyanakkor próbaként sor került már a „Tatai” energianádból való pellet készítésére is, mely segítségével a jövőben lehetőség nyílhatna az ipari tüzelés mellett a lakossági felhasználásra is, amennyiben a kisteljesítményű kazánok esetén is sikerül leküzdeni a fentiekben említett tüzeléstechnikai problémákat.

Ha a fa és szalma átlagos elemi összetételét vizsgál-

**1. táblázat** Fa és szalma átlagos elemi összetételének összehasonlítása (Németh alapján, 2008)

**Table 1** Comparison the elemental composition of wood and straw (based on Németh 2008)

	Fa	Szalma
<b>Kémiai komponensek (mg/kg):</b>		
Nitrogén	670	1750
Kén	40	470
Klór	44	1400
<b>Emisszió (mg/Nm<sup>3</sup>):</b>		
NO <sub>x</sub>	140	260
SO <sub>x</sub>	10	100
HCl	0,6	36



juk, a szalmában 2,5-szer annyi nitrogén, csaknem 12-szeres mennyiségű kén, és körülbelül 30-szoros mennyiségű klór van (1. táblázat).

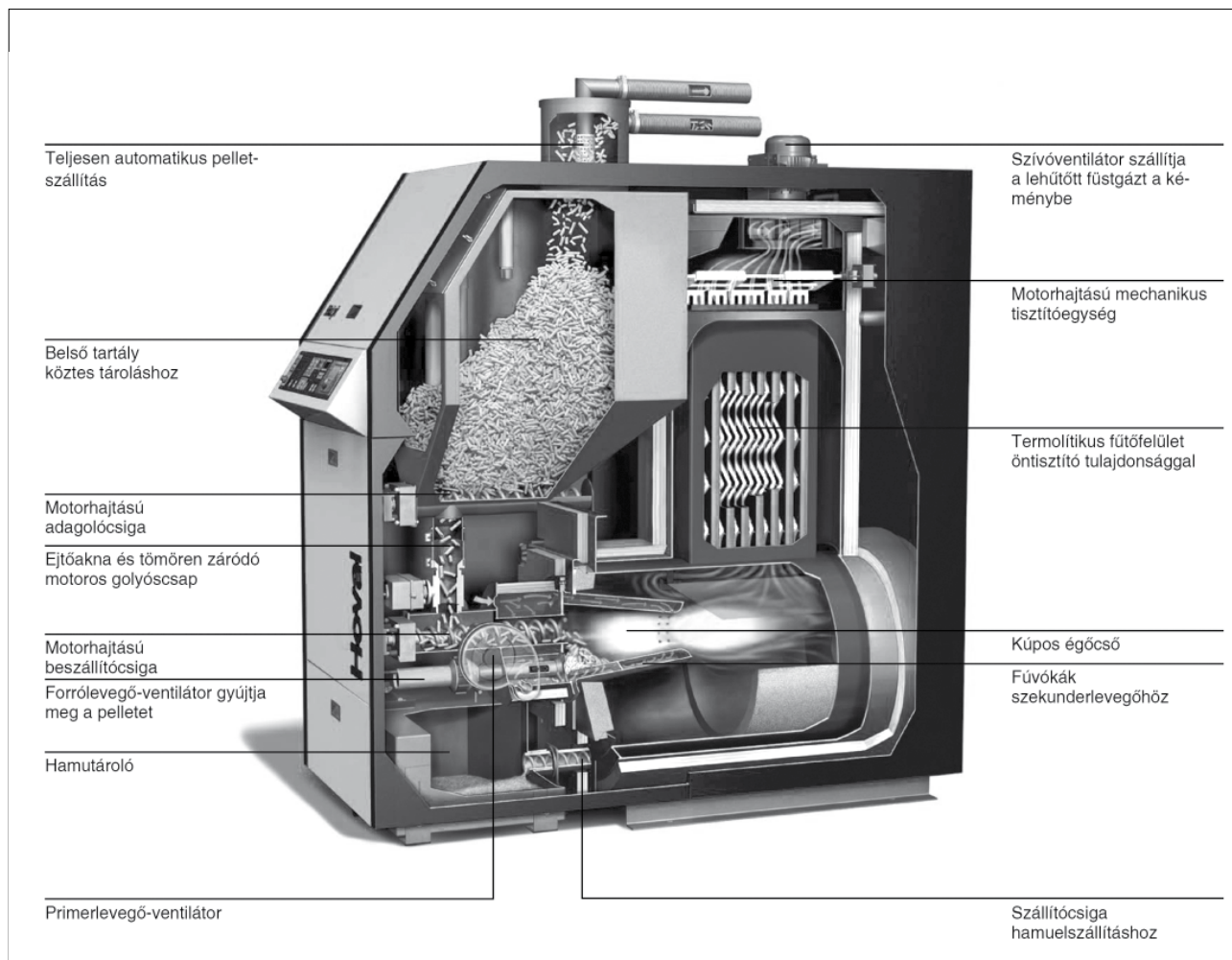
#### Általánosan használt leggyakoribb pellet tüzelésű rendszerek

A pelletkazánok általában hatékonyabbak, mint a hagyományos fatüzelésű kazánok. A rendszerek kialakítása az adagolórendszerben (nem minden esetben) és az égőfej esetében tér el, de mint látni fogjuk, vannak olyan rendszerek, melyek apríték és pellet tüzelésére egyaránt alkalmasak. A rendszer „lelkét” a pellet égőfej adja, mely kiegészül az automatikus adagoló egységgel. A kazánban található hőcserélő rendszer lehetővé teszi, hogy a kilépő füstgáz hőmérsékletét igen alacsonyan tartsuk, így a füstgáz hője nagyobb részben hasznosul.

A pelletkazánok gyakorlatilag minden felhasználói igényt képesek kielégíteni, a legkisebb ~20kW-os lakossági igényektől a több száz kW-os ipari igényekig. Az égőfej egyik típusát úgy a legkönnyebb elkép-

zelni, mint egy hagyományos gázégőt (1. ábra). A pelletégető folyamatos, biztonságos üzemeltethetőségéről egy automatika gondoskodik. Feladata az égető egység pillanatnyi állapotának figyelése az érzékelő egységektől kapott információk alapján. Ezen információk feldolgozása után az épp aktuális munkafolyamatnak megfelelően a beavatkozó szerveken keresztül biztosítja a megfelelő mennyiségű pelletet és a levegőellátást. A tüzelőanyagot az égőfejben egy elektromos fűtőszál segítségével egy ún. „forrólevegő” ventilátor gyújtja be.

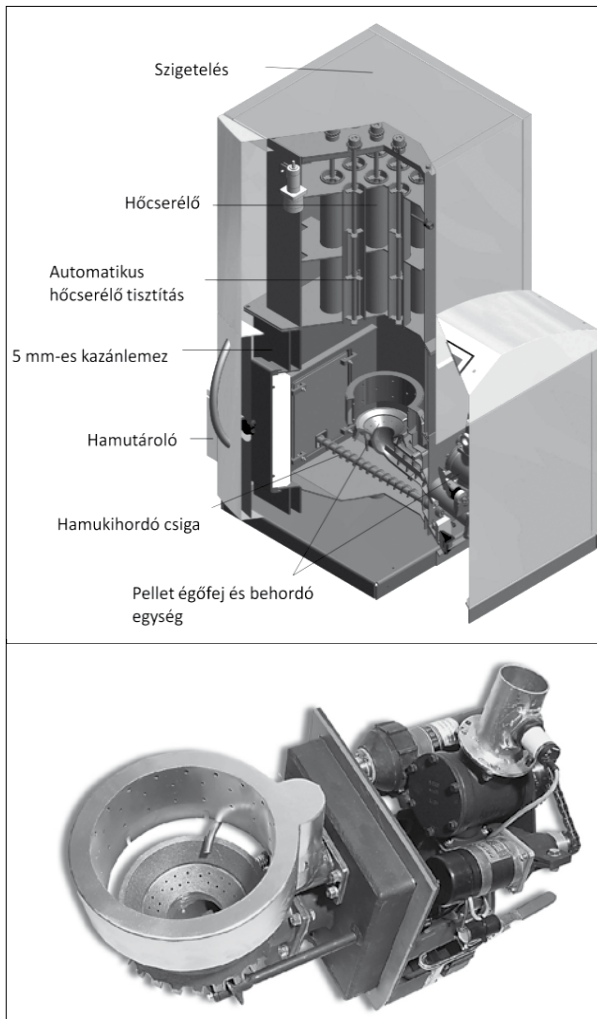
A következő példa egy pelletkazán állóserleges égetőfeje (2. ábra). A serleg a gyakorlatban két különálló részből áll: az alsó égetőtégelyből és a szekunderlevegő betáplálására szolgáló köpenyből. A pelletet alulról adagolja (alátolja) egy csigas rendszer, majd azt – a korábban már említett – forrólevegő sugárral meggyújtják. A primer levegő egy perforált, kúpos alakú felületen, míg a szekunderlevegő a felső henger alakú köpenyben biztosítja az



**1. ábra** Pelletkazán kúpos égőcsővel, pelletégővel (forrás: Hoval, BioLyt 50-160 kW-os pelletkazán)

**Figure 1** Pellet furnace with conical blast tube and pellet burner (source: Hoval, BioLyt 50-160 kW pellet furnace)



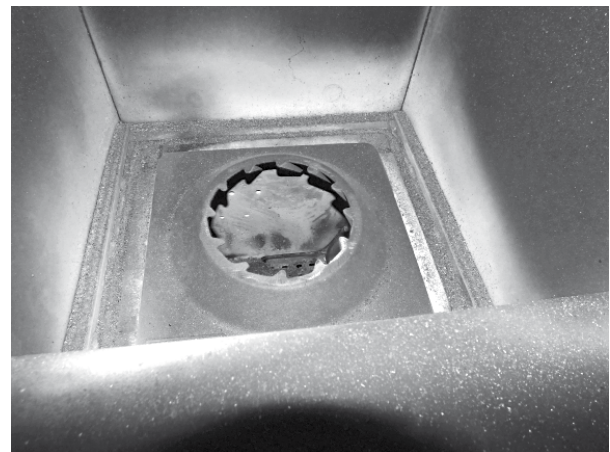
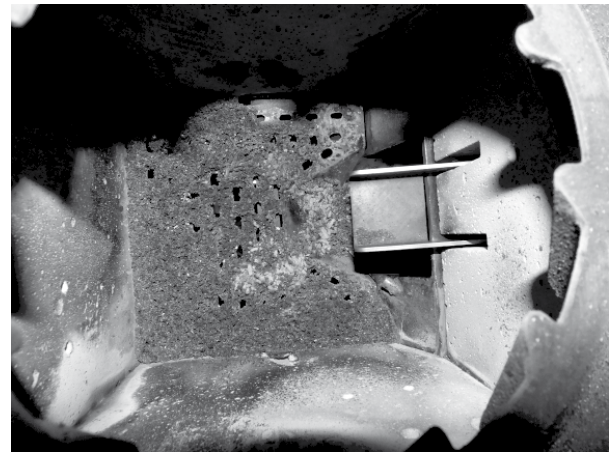


**2. ábra** Pelletkazán alátolós serleges pelletégővel (forrás: Wagner&Co LIGNOplus pelletkazán)

**Figure 2** Pellet furnace with special pellet burner (source: Wagner&Co LIGNOplus pellet furnace)

égéshez szükséges megfelelő mennyiségű oxigént. A tégelyt egy tisztítóegységgel szerelik fel, amelyet időnként egy csigahajtómű mozgat előre-hátra, kitisztítva így a hamu és a lerakódásoktól a tégely és a köpeny közti rést, ezzel is biztosítva az akadálymentes szekunder levegő beáramlást.

Fás szárú biomasszából készült pelletek esetén sokszor alkalmaznak vegyes alapanyagú biomassza tüzelésre – apríték és pellet égetésére – is alkalmas égőfejet (3. ábra). Ilyen berendezésen (Buderus LOGANO SH 25) fogunk különböző, általunk – egy kis teljesítményű kísérleti pelletáló berendezésen (NOVA PELLETT N-MICRO) – legyártott pellet típusokat tüzeléstechnikai vizsgálatoknak alávetni. Az agripellet tüzelésre kialakított kazánok esetén olyan égőfejet kell alkalmazni, amely képes arra, hogy a tüzelési hőmérsékletet ne vigye 700-800 °C



**3. ábra** Apríték és pellet égetésére alkalmas égőfej, égéstér kis teljesítményű kazán esetén (NymE, NRRC - Energetikai Laboratórium; Buderus LOGANO SH 25 apríték és pellet tüzelésű kazán)

**Figure 3** Burner for wood chips and pellet, combustion chamber of a low-power furnace (NymE, NRRC - Laboratory of Energetics; Buderus LOGANO SH 25 chips and pellet furnace)

főle, valamint, hogy az elhasznált anyag maradékát folyamatosan eltávolítsa a felhalmozás szintje függvényében. Mindezt anélkül kell megtenni, hogy a befelé jövő fűtőanyaggal zavarják egymást, valamint, hogy még az égési fázisban lévő tüzelőanyagot kiszállítsanak. Ezért lágyszárúakból készült pelletek esetén mozgó rostélyt alkalmaznak, de szokás – főleg nagyobb égetők esetén – a szénrel együtt történő égetés is.

### Összefoglalás

A megújuló energiaforrások alkalmazása számos előnyt hordoz magában, többek között környezetvédelmi okokból is. Hőenergia előállítására jó alternatíva a különféle biomasszák eltüzelése. Ennek egyik legnagyobb komforttal bíró válfaja a pellet tüzelés, amely jól automatizálható, ezért már Ma-



gyarországon is egyre elterjedtebb tüzelési mód, így a gáztüzelés egyik legnagyobb riválisává válhat.

Általánosságban a pelleteket két nagy csoportba oszthatjuk alapanyaguk szerint: fapellet és agripellet. A két anyag elemi összetételében nagy különbségek vannak, így az agripellet tüzelés különböző kérdéseket vet fel, és a kazángyártókat speciális kihívások elé állítja, melyekre a szakirodalom nem ad egyértelmű válaszokat.

A biomassza alapú tüzelőanyagok fizikai, kémiai és elemi összetétele határozza meg az égés tulajdonságait, a visszamaradó hamu mennyiségét, annak olvadáspontját, valamint a füstgáz összetételét. Általánosságban a kémiai összetevők mennyiségével kapcsolatban az alábbi kijelentéseket tehetjük:

- Azoknak a tüzelőanyagoknak, amelyeknek magas a kálium, nátrium és szilícium tartalma, alacsonyabb a hamuolvadási pontja.
- A klórtartalom növekedésével növekszik a korróziós hatás előfordulásának valószínűsége.
- Magas nitrogén- és a kéntartalom esetén az emissziós értékek romlása tapasztalható.

A fent említett okok miatt az agripellet eltüzeléséhez kifejezetten erre tervezett kazánt kell használni, tehát olyan kazánt kell választani, amely alkalmas mezőgazdasági hulladékok, szalma és bármilyen pellet eltüzelésére is. (Ez fordítva természetesen nem igaz: agripellet tüzelésére alkalmas kazánban lehet fapelletet tüzelni.)

Az egyes agripelletek égési tulajdonságai csak részben ismertek, jellemzően ezek az ismeretek a többé-kevésbé ismert anyagösszetételre, általános ismeretekre és felhasználási tapasztalatokra épülnek. Ahhoz hogy az agripelletek felhasználása szélesebb körben elterjedhessen, a felhasználás még inkább szabályozhatóvá válhasson, a fapelletek és az agripelletek együttes használata elfogadottá és problémamentessé váljon, szükséges az agripelletek további vizsgálata. Megfelelő ismeretek mellett a biomassza tüzelés erős pillérévé válhatnak a különböző típusú pelletetek.

A cikkben megfogalmazott kutatásokról a későbbiekben részletesen be fogunk számolni.

### **Közlemény**

A kutatás a „Környezettudatos energiahatékony épület” című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt, valamint a Talentum - Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetem című

TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális alap társfinanszírozásával valósult meg.

### **Irodalomjegyzék**

Barótfi István: Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, ISBN 9632860098; Budapest, 2002

Dragoman Réka: Lágyszárú növények energetikai hasznosítása; MezőHír, 2007/5.

Fenyvesi László, Ferencz Ákos és Tóvári Péter: A tűzipellet. Cser kiadó, ISBN 9789639759848, Budapest, 2008

International Energy Agency; World Energy Outlook. Paris, 2010

Ivelics Ramón: Minirotációs energetikai faültetvények termesztés-technológiájának és hasznosításának fejlesztése. Doktori értekezés, NymE Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola Biokörnyezettudomány Program. Sopron, 2006

Németh Béla: Szilárd biomassza tüzelése. PTE Fizikai Intézet; Pécs, 2008

Németh Gábor, Varga Mihály, Tóth Béla: A kutatás a „Környezettudatos energiahatékony épület” című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt megvalósítása során készített „Dendromassza alapú energiaforrások alkalmazása a kiserőművek, falufűtőművek, (fa)ipari létesítmények és családi házak egyedi fűtési esetén” tanulmány. Sopron, 2012

Nemzeti Fejlesztési Minisztérium. Nemzeti Energiastratégia 2030, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, ISBN 9789638932815, Budapest, 2012

Paccalacque, Fulvio [et al.]. Pellets in Southern Europe, the state of the art of pellets utilisation in Southern Europe. New perspectives of pellets from agrie-residues. 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Italy, Rome, 2004

## Talentum program keretében megjelenő Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola új tankönyvek és jegyzetek

*Horváthné Hoszpodár Katalin*

A Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola a képzési programjában meghirdetett tárgyak ismeretkörében 10 tankönyv és 5 jegyzet kiadásáról döntött. A kötetek a TÁMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 számú TALENTUM – Hallgatói tehetséggondozás komplex feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen című projekt támogatásával jelennek meg. Az utolsó öt év tíz sikeres disszertációjának – átdolgozott, tankönyv formában történő – kiadásáról egy szakmai bizottság döntött. A szakmai színvonal mellett a kiválasztás szempontja elsősorban a doktori iskola tantárgyínálatához való illeszkedés volt. A szerzők a témák elméleti hátterének feldolgozását követően konkrét gyakorlati, módszertani kutatásokat, esettanulmányokat mutatnak be.

A tervezett kiadványok folyamatosan, 2013. május 31-ig jelennek meg, és elektronikus változatuk az FMK doktori iskola honlapján érhetők el. Az alábbi felsorolás az eddig megjelent kiadványokat mutatja be.

*Cziráki József Doktori Iskola tankönyvek:*

### **A faanyag és faalapú anyagok anizotrop tönkremeneteli elméleteinek vizsgálata alkalmazhatóságuk szempontjából**

Szerző: Dr. Garab József

Kulcsszavak: anizotrop tönkremeneteli elméletek, biaxiális és triaxiális vizsgálatok, feszültségállapotok transzformációja, tönkremeneteli viszonyszám, Ashkenazi-elmélet

Oldalszám: 117

Példányszám: 50



### **Könnyűszerkezetes lakóházak hőtechnikai vizsgálata**

Szerző: Dr. Hantos Zoltán

Kulcsszavak: fa bordavázás épületek, energetikai minősítés, számítási módszer, energetikai fejlesztés

Oldalszám: 163

Példányszám: 50



### Épített és bútorozott környezet ergonómiájának elemzése, ergonómia gyakorlati alkalmazása

Szerzők: Dr. Horváth Péter György – Prof. Dr. Kovács Zsolt

Kulcsszavak: ergonómia rendszere, felhasználói képességek, környezeti elvárások, ergonómiai tervezés

Oldalszám: 148

Példányszám: 50

### Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága

Szerző: Dr. Németh Gábor

Kulcsszavak: hulladékgazdálkodás, faalapú hulladékok, melléktermékek, inverz logisztika, komplex hulladékkezelés és hasznosítás

Oldalszám: 160

Példányszám: 50

### A gőzölés modifikáló hatásának vizsgálata két európai és két trópusi faj egy fizikai-mechanikai tulajdonságainak tükrében

Szerző: Dr. Varga Dénes

Kulcsszavak: faanyag molekuláris felépítése, színváltozás, színstabilitás, nedvességtartalom, mechanikai tulajdonságok, felületi energia, degradáció, nyírószilárdság

Oldalszám: 138

Példányszám: 50

### Cziráki József Doktori Iskola jegyzet:

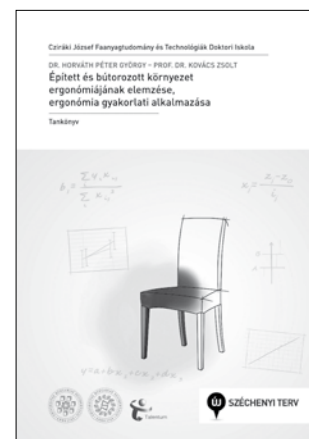
#### Marketing és társadalomkutatás kutatási módszerei

Szerzők: Dr. Bednarik Éva (2.rész) – Dr. Takáts Alexandra (1. rész)

Kulcsszavak: piackutatás, marketingkutatás, kvalitatív és kvantitatív kutatások, környezeti attitűd, faanyag iránti attitűd (1. rész: *Marketingkutatás módszerei és gyakorlata*); fogyasztói és vásárlói magatartás, magatartás- és döntéshozatali modellek, trendkutatás, vásárlói magatartás a bútortpiacon (2. rész: *Vásárlói magatartás*)

Oldalszám: 153

Példányszám: 280







A FAIPAR megjelenését támogatta a

# Talentum

**Talentum – Hallgatói tehetséggondozás komplex feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen**  
Projektazonosító: TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018

A projekt célja a Nyugat-magyarországi Egyetem tehetséggondozási koncepció, a tudományos utánpótlás-nevelés magas színvonalú megvalósításának biztosítása komplex feltételek megteremtése által, amelyek lehetővé teszik a tehetségek számára az egyéni és közösségi tudományos fejlődést. Ennek az oktatói és hallgatói igények harmonizálásával kell megvalósulnia, a TDK, szakkollégiumi és doktori iskolai tevékenységek hatékony egyetemi koordinálásával, a karokon átívelő regionális, interdiszciplináris hálózat létrehozásával.



Nyugat-magyarországi Egyetem  
cím: 9400 Sopron, Erzsébet u. 9.  
telefon: 06 99 518-453  
e-mail: [talentum@sopron.nyme.hu](mailto:talentum@sopron.nyme.hu)  
web: <http://talentum.nyme.hu>

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
[www.ujszechenyiterve.gov.hu](http://www.ujszechenyiterve.gov.hu)  
06 48 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.



## Tudományos cikkek benyújtása a Faipar részére

Kiadványunkba örömmel várjuk tudományos igényű közleményeiket. Felhívjuk szíves figyelmüket, hogy a Faipar célja eredeti alkotások közzétele, ezért csak olyan cikkeket várunk, amelyeket más újságban még nem publikáltak. A folyóirat magas színvonalra és a szerkesztői munka megkönnyítése érdekében kérjük az alábbiak betartását:

- A cikkeket egyszerű formátumban kérjük elkészíteni (12 pt Times New Roman betűk, elválasztások nélkül.) A stílusok használatát kérjük mellőzni. Az ilyen formában elkészített cikkek terjedelme max. 10 oldal lehet, az ennél hosszabb munkákat kérjük több, külön publikálható részre bontani.
- A cikkekhez angol nyelvű címet, kulcsszavakat, és egy rövid (max. 100 szavas) angol összefoglalót kérünk mellékelni.
- A szerzőknél kérjük feltüntetni a tudományos fokozatot, a munkahelyet és beosztást.
- Az irodalomjegyzéket az első szerző neve szerint, abc-sorrendben kérjük. Kérjük, ügyeljenek a hivatkozások pontos megadására (újságcikkek esetén év, évfolyam, szám, oldalak; könyvek esetén év, a kiadó neve, székhelye, oldalak száma.) Kérjük, a cikkben belül a szerző és az évszám megadásával hivatkozzanak ezekre.
- Az ábrákat és táblázatokat a benyújtott anyag végén, külön lapokon kérjük megadni. A táblázatokat és ábrákat meg kell számozni, és címmel ellátni. A szövegben ezekre szám szerint kérünk hivatkozni (1. ábra, 2. táblázat, stb.)
- Az egyenleteket az MS Word egyenletszerkesztőjével kérjük elkészíteni (kivéve egészen egyszerű egyenletek esetében), és szögletes zárójelekkel beszámozni: [1]. Az állandóknál és változóknál dőlt betűformátum alkalmazását kérjük.

Felhívjuk szíves figyelmüket, hogy a Faiparhoz beérkező cikkek lektorálásra kerülnek, ami után azokat, ha szükséges, javításra vagy átdolgozásra visszaküldjük a szerzőknek. A szerzők javaslatait a lektor személyére vonatkozóan örömmel vesszük. A végleges, javított szöveget, elektronikus formában kérjük. A kéziratokat a következő címre várjuk:

Varga Dénes  
NymE-ERFARET Nonprofit Kft.  
9400 Sopron Bajcsy-Zsilinszky u. 4.  
E-mail: vargadenes@nyme.hu  
Tel.: 99/518 602 Fax: 99/518 601

# FAIPAR

A FAIPAR TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA

### Szerkesztőség:

Bejő László főszerkesztő  
Varga Dénes szerkesztő  
Farkas Péter, Somos András tördelőszerkesztő  
Kantó-Simon Ildikó olvasószerkesztő

### Szerkesztőbizottság:

Molnár Sándor (elnök), Albert Levente,  
Csóka Levente, Hargitai László,  
Kovács Zsolt, Peszlen Ilona,  
Szalai József, Tóth Sándor,  
Varga Mihály, Winkler András

FAIPAR - a faipar tudományos folyóirata és a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Karának alumni lapja. Megjelenik a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar és a Faipari Tudományos Egyesület közös gondozásában.

Kiadja a NymE-ERFARET Nonprofit Kft.

Kiadásért felelős: Dr. Varga Dénes ügyvezető

Design: Farkas Péter

A folyóirat célja tudományos igényű, lektorált cikkek megjelentetése és általános tájékoztatás a hazai és nemzetközi faipar híreiről, újdonságairól.

A cikkekben kifejtett nézetek a szerzők sajátjai, azokért a Faipari Tudományos Egyesület és a NymE Faipari Mérnöki Kar felelősséget nem vállal. A kiadványban található cikkeket, tanulmányokat a szerzők tudtával és beleegyezésével publikáljuk. A cikkek nem reprodukálhatók a kiadó és a szerzők engedélye nélkül, de felhasználhatók oktatási és kutatási célokra, illetve idézhetők más publikációkban, megfelelő hivatkozások megadása mellett.

Megjelenik negyedévente.

Terjeszti a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar. A kiadványt a FATE tagjai ingyen kapják. Az újságcikkeket, híreket, olvasói leveleket Varga Dénes részére kérjük elküldeni.

A kiadvány elektronikusan elérhető a <http://faipar.fmk.nyme.hu>, valamint a [www.erfaret.hu/kiado](http://www.erfaret.hu/kiado) weboldalon.

Készült a soproni ReproLan Kft. nyomdájában, 500 példányban.

HU ISSN: 0014-6897

### Címlap:

Virágzó zselnicemeggy (fotó: Dr. Börcsök Zoltán)



