



## Infravörös sugárzásnak kitett lucfenyő száradásának vizsgálata statisztikai módszerekkel

CSERTA Erzsébet<sup>1</sup>, AGÓCS Gergely<sup>2</sup>, HEGEDŰS Gergely<sup>3</sup>, NÉMETH Róbert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Kar, Faanyagtudományi Intézet

<sup>2</sup> Semmelweis Egyetem, Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

<sup>3</sup> Kentech Kft., Budapest

### Kivonat

Ebben a munkában infravörös (IR) sugárzásnak kitett lucfenyő (*Picea abies* (L.) Karst) száradási sebességének változását vizsgáltuk különböző befolyásoló tényezők hatása szerint. A befolyásoló tényezők közül az IR sugárzás intenzitását – mint technológiai paraméter –, illetve a minta kezdeti nedvességtartalmát – mint anyagjellemző – változtattuk. A mérések kiértékeléséhez gyakorisági eloszlásokat használtunk. Eredményeinkből arra következtettünk, hogy azzal az általános nézettel szemben, miszerint az IR besugárzás csak felületi melegítésre alkalmas, IR besugárzással a faanyag belseje is jól melegíthető.

**Kulcsszavak:** infravörös melegítés, szárítás, lucfenyő, nedvességtartalom

## Statistical analysis of drying intensity by spruce wood exposed to infrared radiation

### Abstract

In this work, the change of the drying rate of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst) wood exposed to infrared (IR) radiation was analysed at different levels of two influencing factors. One of them was the intensity of the emitted IR radiation (technological condition). The other was the initial moisture content of the samples (biological parameter). Drying rate data sets belonging to each of the measurement conditions were represented by histograms. In contrast to the general opinion that the IR radiation is only capable of heating the wood superficially, the results showed that the internal part of a board can also be heated by it.

**Key words:** infrared heating, drying, spruce wood, moisture content

### Bevezetés

A faanyag száradása nagyban függ a faanyag tulajdonságaitól és a szárítási körülményektől. Ezért a különböző, száradást befolyásoló tényezőket a faanyag száradási mechanizmusának ismeretében változtatják, így lehetővé válik a nedves mintadarab száradásának irányítása. Bár a faiparban konvencionálisan alkalmazott szárítási technológiák során leginkább konvektív hőközlési módot használnak, az utóbbi években a sugárzásos hőátadást alkalmazó eljárások is egyre inkább az érdeklődés középpontjába kerültek. Különösen az infravörös (IR) spektrális tartományba eső sugárzás bizonyult alkalmasnak olyan porózus, szerves anyagok hőkeze-

lésére, mint amilyen a fa is. Legtöbbször azonban továbbra is csak kiegészítő eljárásként alkalmazzák konvektív szárítási technológiákban a felület hatékonyabb felmelegítése érdekében (Takáts 2000; Chua et al. 2004; Di Blasi, 1998).

Jelen munkánk során IR sugárzásnak kitett faanyag száradását vizsgálatuk különböző beállítások mellett. Technológiai paraméter, illetve anyagtulajdonság szerint két befolyásoló tényező hatását értékeltük: a száradási sebesség változását vizsgáltuk az IR sugárzás intenzitásának és a minta kezdeti nedvességtartalmának változtatása során. A mérések elvégzésére egy saját fejlesztésű IR hőkezelő berendezésben került sor. Az ered-

ményeink azt a korábbi feltételezésünket támasztották alá, hogy IR besugárzással a faanyag belseje is jól melegíthető, ellentétben az általános nézetel, miszerint az IR besugárzás csak felületi melegítésre alkalmas.

### Anyagok és módszerek

#### *Kísérleti berendezés és mintaelőkészítés*

A faminták szárítását egy olyan kemencében végeztük, amelyben a száradáshoz szükséges hőenergiát infravörös (IR) hőszugárzók segítségével biztosítottuk. A műszer részletes leírása megtalálható egy korábbi publikációnkban (Cserta et al. 2011). A mérések során 50×200×500 mm geometriájú frissen vágott és előszárított lucfenyő (*Picea abies* (L.) Karst) mintadarabokat sugároztunk be IR hullámhosszú sugárzással.

A minta kezdeti nedvességtartalmának – mint anyagjellemző –, illetve az IR sugárzás intenzitásának – mint technológiai paraméter – változtatásával vizsgáltuk a száradási sebesség alakulását:

- A minták kezdeti nedvességtartalma szempontjából külön vizsgáltuk a frissen vágott és a már rosttelítettségi határ alá szárított nedvességtartalmú mintákat. A frissen vágott deszkák kezdeti nedvességtartalma 35–60% közé esett, míg az előszárított mintadarabok mindegyikének 25% alatti volt a kezdeti nedvességtartalma. A fűtőcső felületi hőmérséklete ezekben a mérésekben 130–150 °C volt.
- Az IR fűtőcső intenzitása szerint megkülönböztettük egymástól azokat a méréseket, amelyekben az IR sugárzók hőmérséklete 130–165 °C, illetve 100–120 °C volt. Ehhez a csoportosításhoz olyan méréseket vettünk csak figyelembe, ahol a minta frissen vágott deszka volt, 35–60% közötti kezdeti nedvességtartalommal.

A két külön csoportosítás mintadarabjai között található átfedés. A nagy kezdeti nedvességtartalmú mintadarabok mérései megegyeznek a nagy intenzitáson végzett mérések egy részével. Ez utóbbi mérések (nagy intenzitású szárítás) kiegészülnek 10 olyan kísérlettel, amelyek 150 °C feletti hőmérsékletre hevített IR sugárzóval készültek. A magas/alacsony intenzitás és a magas/alacsony kezdeti nedvességtartalom vizsgálatával elvégzett teljes statisztikai analízis 43 mérés eredményét tartalmazza.

A statisztikai kiértékelésben átlagos száradási sebességet vizsgáltunk, így az adatok a száradás teljes tartományára vonatkoznak. Közbevetett mérés nem volt. Mind a nedves, mind a rosttelítettség alati

kezdeti nedvességtartalommal rendelkező, előszárított mintadarabokat abszolút száraz állapotig szárítottuk. Bizonytalanságot visz a mérési eredményekbe, hogy az előszárított minták esetében nem minden mérésnél tudtuk pontosan meghatározni a száradási folyamat végét. Ez a pontatlanság abból eredt, hogy a nedvességmérés a tömegcsökkenés alapján a mintadarabok kivételével szakaszosan történt. Lehetséges tehát, hogy az utolsó száradási szakasz mérésénél hamarabb befejeződött a mintadarab teljes száradása, mint hogy a hevítés befejeződött volna. Így hosszabb időegységre vonatkoztatva ugyanazt a mennyiségű eltávozó vizet, tehát lassabb száradási sebességet kaphattunk.

### Statisztikai elemzés

Az eredmények szemléltetéséhez gyakorisági eloszlást használtunk, amihez az egyes pallók száradási sebesség értékeit csoportokba rendeztük. A száradási sebesség kiszámításához a következő képletet alkalmaztuk:

$$v_{sz} = \frac{m_u - m_o}{t} \cdot 100 \quad (\%/min) \quad [1]$$

ahol:

$v_{sz}$  – átlagos száradási sebesség (%/min)

$t$  – IR expozíciós idő (min)

$m_u - m_o$  – eltávozott víz tömege (g)

$m_u$  – nedves faminta tömege (g)

$m_o$  – abszolút száraz faminta tömege (g)

A mért adatokat az egyes beállításoknak megfelelően hisztogramokkal ábrázoltuk. Az egyes hisztogramokhoz legalább 14 mérés eredményét használtuk fel. A mérési paramétereket az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az osztályhatárokat és az osztályszélességet úgy választottuk meg, hogy az összes adatra nézve egységes és optimális legyen. A kis adatszám miatt felerősödhet az osztályhatároktól függő torzítás; ez magyarázhatja az adatok egyenetlen eloszlását.

### Eredmények

Az átlagos száradási sebesség gyakorisági eloszlásait a vizsgált befolyásoló paraméterek különböző beállításainál az 1. ábrában mutatjuk be. Az adatgyűjtés során alkalmazott paramétereket, valamint a gyakorisági eloszlások átlag és szórás értékeit az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az osztály szélesség 0,015%/min volt.

A véletlen eltérés valószínűségének megadásához kétmintás t-próbát alkalmaztunk mindkét ösz-

**1. táblázat** A mérési beállítások és az eredményekből felrajzolt hisztogramok paraméterei

**Table 1** Experimental setup and parameters of the histograms

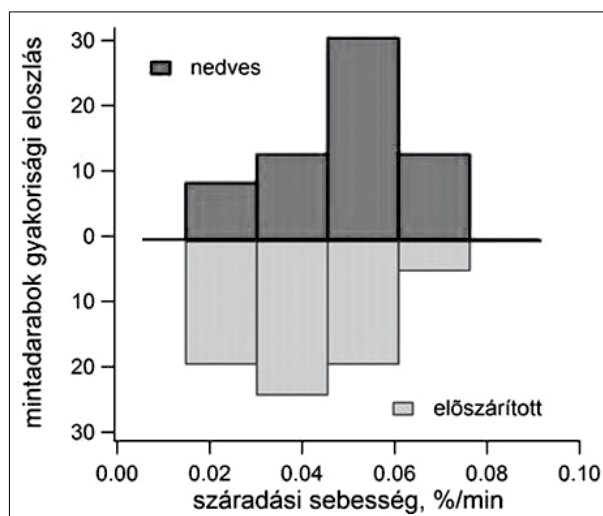
Beállítás	IR sugárzó hőmérséklete (°C)	Minta kezdeti nedvességtartalma (%)	Minta szám (db)	Száradási sebesség várható értéke (%/min)	Száradási sebesség szórása (%/min)
Frissen vágott	130-150	35-60	15	0,05	0,015
Előszárított	130-150	25>	14	0,04	0,013
Nagy besugárzási intenzitás	130-165	25-60	25	0,035	0,06
Kis besugárzási intenzitás	100-120	25-60	14	0,05	0,015

szehasonlító elemzésnél. A mérési eredményeket normális eloszlással közelítettük, ami alapján azonos varianciákat feltételeztünk. Az így kapott szignifikancia szinttel megadjuk annak a valószínűségét, hogy a mért eredmények mennyire térnek el egymástól a véletlen hiba miatt.

### A kezdeti nedvességtartalom változtatása

Az 1. ábrán bemutatott hisztogramokban a száradási sebesség két eloszlása frissen vágott és előszárított mintadarabok eredményeire vonatkozik.

A frissen vágott és az előszárított deszkák száradási sebességének várható értéke azonos intervallumba esik (a frissen vágott minták átlagos száradási sebessége = 0,04%/min, az előszárított minták átlagos száradási sebessége = 0,05%/min). Ez az eltérés nem jelentős és nagyban függ az osztályhatár és osztályzélesség megválasztásától. A kétmintás t-próba alapján 5,58%-os szignifikancia szintet kaptunk. Jelentős különbség az adatok szórásában sem figyelhető meg. Az előszárított minták száradási sebesség értékének szórása (0,013%/min) közel azonos a frissen vágottakéval (0,015%/min).



**1. ábra** Az átlagos száradási sebesség függése a kezdeti nedvességtartalomtól

**Figure 1** The effect of initial moisture content (green and pre-dried) on the average drying intensity

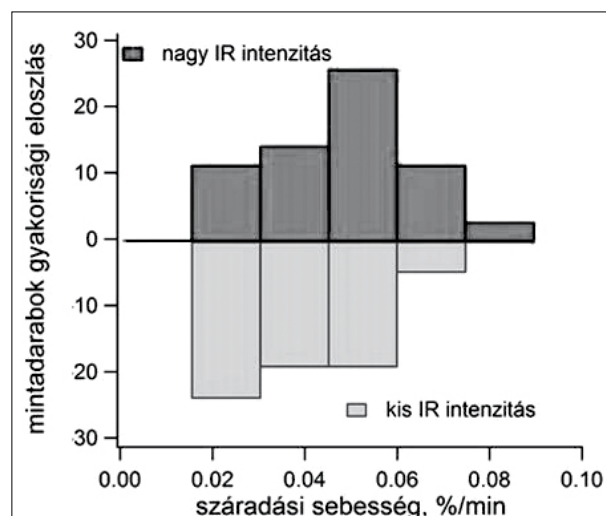
### Az IR besugárzás intenzitásának változtatása

A 2. ábrán bemutatott hisztogramokban a száradási sebesség két eloszlása a nagy és kis IR intenzitású sugárzásnak kitett mintadarabok eredményeire vonatkozik.

Nagyobb intenzitás alkalmazásánál nagyobb a száradási sebesség átlagos értéke (0,06%/min), mint az alacsony intenzitású hevítéseknél (0,035%/min). A kétmintás t-próba alapján 6,81%-os szignifikancia szintet kaptunk, ami kevésbé szignifikáns, mint a kezdeti nedvességtartalom szerint végzett méréseink eredményei.

### Értékelés

A frissen vágott és előszárított darabok száradási sebességei alapján arra következtethetünk, hogy a nedvességtartalom csökkenésével nem csökken a száradás sebessége, ami ellentmond annak az általános tapasztalatnak, hogy a nedvességtartalom rosttelítettségi határ alá csökkenésével drasztikusan lecsökken a száradási sebesség. A szárítási sebesség lecsökkenése a konvencionális hőkezelési technológiáknál magyarázható azzal, hogy a hő-



**2. ábra** Az átlagos száradási sebesség függése a besugárzás intenzitásától

**Figure 2** The effect of IR intensity (high and low) on the average drying intensity

átadás konvektív és konduktív jellege miatt a hő nehezebben terjed a száradt faanyagban, mint a nedvesben. Ennek oka, hogy a száraz térfogatot kitöltő levegőnek, illetve vízgőznek kisebb a hővezető képessége, mint a víznek.

Ezzel szemben a saját mérésekben elért azonos száradási sebesség nedves és előszárított fák esetében homogén száradásra utal. A száradás sebességében elért egyenletességet a hőátadás sugárzásos jellegével magyarázzuk. A hőszugárzók spektrumát ugyanis úgy határoztuk meg, hogy a víz nagy abszorpciós képességgel rendelkezzen ebben a sugárzási intervallumban, miközben a faanyagot felépítő szilárd anyagok, többnyire lignocellulózok abszorpciós elhanyagolhatóan kicsi legyen ugyanezen intervallumban. Következésképpen, a sugárzással átadott hő gyakorlatilag a fában lévő vízben, illetve vízgőzben nyelődik el, ugyanakkor a szilárd lignocellulóz szerkezet nem jelent szigetelést az adott hullámhosszú sugárzás hőátadására nézve. Ezért tapasztalhattuk, hogy a minta felületi rétegeinek kiszáradásával párhuzamosan nem csökken le drasztikusan a száradás sebessége.

A vártnak megfelelően, nagy IR intenzitás alkalmazásánál 25%-kal gyorsabban száradt a fa, mint kisebb besugárzási intenzitásnál. Ennek az először evidenciának tűnő megállapításnak nagy jelentősége van, ha az eredményekből a sugárzásos hőátadás hatékonyságára szeretnénk következtetni. Az alacsony intenzitású hevítésekben mért lassabb száradást az is befolyásolja, hogy az alacsony hőmérsékletű fűtőcső hőmérsékleti sugárzása már nem elegendően intenzív ahhoz, hogy az effektív száradáshoz szükséges hő sugárzás révén jusson el a faanyag belsejében található nedvességtartalomhoz. Így a hőátadás lényegileg a konvektív és a konduktív módokra korlátozódik, aminek hátrányaira már a kezdeti nedvességtartalom jelentőségének tárgyalásánál kitértünk.

### Összegzés

Saját fejlesztésű hőkezelő berendezésben vizsgáltuk IR sugárzásnak kitett fadarabok száradási sebességének változását különböző befolyásoló tényezők változtatásának hatására. Méréseink értékelésénél különbséget tettünk azon eredmények között, amelyeket frissen vágott, és amiket előszárított mintadarabokon végeztünk el, valamint a nagy és a kis IR intenzitású sugárzásnak kitett mintadarabok száradási sebességeit is összehasonlítottuk. A mért eredmények értékeléséhez hisz-

togramokat és kétmintás t-próbát használtunk. Az eltérések egzakt, számszerű, illetve grafikus demonstrációja érdekében végeztük el az adatok statisztikai kiértékelését, mely lehetővé tette, hogy megállapítsuk: az alkalmazott módszerek révén elért eredmények közötti különbség szignifikáns. Azt tapasztaltuk, hogy a száradási sebesség nedves és előszárított fák esetében egyformán homogén száradásra utal; drasztikus lassulást a kezdeti nedvességtartalom rosttelítettségi határ alá csökkentésekor nem tapasztaltunk. Továbbá a vártnak megfelelően, nagyobb intenzitású IR besugárzás hatására gyorsabban szárad a fa. Ezekből arra következtettünk, hogy az általános nézettel szemben – miszerint az IR besugárzás csak felületi melegítésre alkalmas –, az IR besugárzással a faanyag belseje is jól melegíthető. Ennek oka, hogy az alkalmazott sugárzás hullámhosszát a lignocellulózok nem, vagy kevéssé nyelik el, szemben a vízzel, ami lokális abszorpciós maximummal rendelkezik ebben a spektrális tartományban. Így elegendően nagy IR intenzitás alkalmazásakor biztosítható a folyamatos hevítés, függetlenül a kiszáradás révén hőszigetelővé vált lignocellulóz rétegtől.

### Köszönetnyilvánítás

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

### Irodalomjegyzék

- Chua K, Chou S, Mujumdar A, Ho J, Hon C (2004) Radiant convective drying of osmotic treated agro products effect on drying kinetics and product quality, *Food Control*, 15:145-158.
- Cserta E, Hegedűs G., Németh R. (2011) Drying process in norway spruce wood exposed to infrared radiation, *BioResources*, 6(4):4181-4189.
- Di Blasi C (1998) Multi-phase moisture transfer in the high-temperature drying of wood particles, *Chem Eng Sci*, 53 (2):353-366.
- Takáts P (2000) A faanyag hidrotermikus kezelése: 8. fejezet. In: Molnár S. (szerk.) *Faipari Kézikönyv I.* Sopron: Faipari Tudományos Alapítvány, 2000. pp. 204-260. (ISBN:963-00-4229-0)