

8. Johansson, L., Liljebblad, A. 1988. *Some applications within the Project „quality Simulations of Sawn Logs”* Tratek rapport I 8806050, ISSN 02834634. In: Öhman, M. _ . Plank grade indicators in radiograph images of Scots pine logs. _.
9. Kucera, L. J. 1989. *Current Use of the NMR Tomography on Wood at the Swiss Federal Institute of Technology: Overview and Outlook.* In: Proc. 7th International Symp. on Nondestructive Testing of Wood. Washington State University Pullman, Washington. pp. 209-219.
10. Molnár, S.(szerk.) 2000. *Faipari Kézikönyv I.* Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 2000.
11. Öhman, M. _ . *Plank grade indicators in radiograph images of Scots pine logs.* _.
12. Saint-Andre, L. 1998. *Modélisation tridimensionnelle des profils de largeur de cerne dans un billion d'Épicéa commun (Picea abies Karst.) compte tenu de la mesure de son enveloppe externe et des caractéristiques dendrométriques usuelles de l'arbre d'origine.* Publication Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois 1998/3, Décembre, p. 215.
13. Szymani, R., McDonald, K. 1981. *Defect detection in lumber: state of the art.* Forest Prod. J. 31(11):34-44.
14. Taylor, F. W., Wagner, F. G., McMillin, Ch. W., Morgan, I. L., Hopkins, F. F. 1984. *Locating knots by industrial tomography – A feasibility study.* Forest Prod. J. 34(5):42-46.
15. Wagner, F.G., Taylor F. W., Ladd D. S., McMillin, C.W., Fredrick, L. R. 1989. *Ultrafast CT scanning of an oak log for internal defects.* Forest Prod. J. 39(11/12):62-64.

A Hunter-modell alkalmazása az akác faanyag szorpciós izotermáinak jellemzésére

Németh Róbert[✧]

Characterisation of Black locust's sorption isotherms using the Hunter model

The sorption isotherms of wood have special significance in drying and in wood-moisture relations in general. Locust is a characteristic species in Hungary, and, nowadays, a raw material of quality products. Its high-value industrial utilisation is virtually impossible without steaming. Steaming changes not only the color, but sorption characteristics as well. One of the goals of this study was establishing the sorption isotherms of locust after various periods of steaming. In addition to heartwood, sapwood and juvenile wood isotherms (especially the fibre saturation point) were measured. The isotherms were analysed using the Hunter model. The experiments showed that this model estimates the modulus of rigidity and fibre saturation point of locust fairly accurately.

Bevezetés

A szorpciós izotermák kimérése a szárítási menetrendek kidolgozásánál rendkívüli fontossággal bír. A szárítás intenzitását ugyanis a szárítóközeg szárítási potenciálja, azaz a tényleges fanedvesség és az adott klímához tartozó egyensúlyi fanedvesség közti különbség döntő mértékben befolyásolja. Tekintve, hogy az atmoszférikus gőzölés során a gyakorlatban mindig a faanyag nedvesedésével kell számolni, ezen anyagokat szárítani is szükséges. A mai gazdasági környezetben a természetes szárítás időigénye miatt mindenképpen mesterségesen célszerű szárítani a fát. A hőkezelés azonban

módosítja a fa szerkezetét, kémiai összetételét, így egy új minőségű anyaggal állunk szemben, melynek indokolt meghatározni szorpciós jellemzőit a minél hatékonyabb szárítás biztosítása érdekében. Bár e munka keretében konkrét szárítási menetrendek kidolgozására nem került sor, a fentiek érzékeltetik, hogy a megcélzott eredményeknek tudományos jelentőségükön túl komoly gyakorlati hasznuk is van. Az izotermákat a Hunter elmélettel vizsgálva mutatjuk be a gőzölésnek a rosttelítettségi nedvességtartalomra és a nyíró rugalmassági moduluszra gyakorolt hatását.

[✧] Németh Róbert egyetemi adjunktus a NyME Faanyagtudományi Intézetében

A vizsgált anyag és módszerek

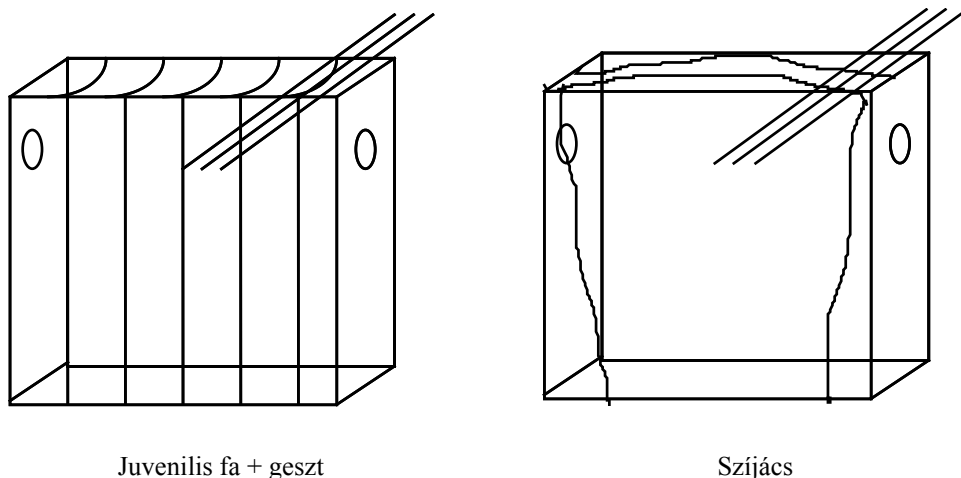
A vizsgálatokhoz fehérakác (*Robinia pseudoacacia* L.) fafajból készültek a próbatestek. Frissen döntött, közel 1m hosszúságú, 30 évgyűrűt tartalmazó kivágások formájában érkezett az anyag a Nyugat-Magyarországi Egyetem Faanyagtudományi Intézetébe. A hengeres anyagból a belet is tartalmazó középső 30mm-es vastagságú szelvények kerültek kialakításra. A deszkákat ezután két csoportra bontottuk: gőzölendő és kontroll anyagokra. A gőzölendő anyagokat további három csoportra bontottuk: 3, 6, ill. 14 napig gőzölendőkre. Minden egyes kezelésnél külön vizsgáltam a juvenilis fát, az érett gesztet és a szíjácsot. A juvenilis fa és az érett geszt elkülönítése az évgyűrűk száma alapján történt.

Molnár (1999) az akác esetén a rosthossz alapján a kilencedik évgyűrűnél javasolja meghúzni a határt az érett fa és a juvenilis fa között. A juvenilis fa és az érett geszt határának megállapítása Molnár (1999) szerint a rosthosszon kívül más szöveti jellemzők alapján is lehetséges, ilyenek pl. az évgyűrűszélesség, korai pásztaarány, elmosódó pásztahatárok. Az így kialakult inhomogén faszerkezettel magyarázható a juvenilis fa nagyobb vetemedési és repedési hajlama. Molnár (1999) rámutat, hogy a juvenilis fa tulajdonságai lényegesen függenek a felújítási és erőművelési módtól is. Vizsgálatainknál ennek megfelelően ügyeltem arra, hogy azonos korú (30 év), azonos termőhelyről származó egy állományból készüljenek a próbatestek.

A próbatestek számát (6) a szorpciós mérőberendezés kapacitása határozta meg. A berendezésbe egyidejűleg 6 próbatestet lehet elhelyezni. A mérések rendkívüli időigénye miatt el kellett fogadni ezt a viszonylag alacsony számot. A folyamatos mérések így kb. 36 hónapot vettek igénybe. A próbatestek kivételekor ügyeltem arra, hogy a lehető legkevesebb számú egyéb tényező befolyásolja a méréseket. A próbatestek mindig azonos magasságból (mellmagassági átmérő) és azonos évgyűrűkből kerültek kivételre.

A gőzölendő szelvényeket a Soproni Egyetem Fizika és Elektrotechnika Intézetének laboratóriumi gőzölő berendezésében gőzöltük 98°C-os hőmérsékleten, közel atmoszférikus nyomáson. A gőzölési menetrendet az iparban is elterjedten használt, Molnár és tsai. (1994) által javasoltaknak megfelelően alakítottuk ki. Az ott leírtak szerint 30mm-es deszkaanyagra 95°C-os hőmérséklet mellett 6 napos gőzölési időt javasolt. A kezelések hatásának bővebb elemzése céljából választottam egy 3 napos és egy 14 napos ciklust is megegyező viszonyok mellett. A próbatestek az **1. ábra** szerint készültek el.

Mivel a mérések az egyensúlyi nedvességtartalom megállapítására irányultak elengedhetetlen volt a kezdő nedvességtartalom stabilizálása, azaz a szorpciós előtörténet közben tartása (Peralta 1995). Erre a célra a deszkákból kivágott darabokat légmentesen fóliába csomagolva hűtőben fagyponthoz alatti tároltuk. Ez az eljárás a szakirodalomban elfogadottnak mondható és ellenőrzött szorpciós előtörténetet biztosít a vizsgálati anyagoknak.



1. ábra - A furattal ellátott 25x25x5 mm-es próbatestek a juvenilis fában és a gesztben, valamint a szíjácsban

A vizsgálat eszközei, a mérés módja

A mérések a Nyugat-Magyarországi Egyetem Faanyagtudományi Intézetének szorpciós mérőberendezésében folytak. A mérőberendezés részletes leírását Babiak és Németh (1998, 2000) közölte.

Az első deszorpciós görbe felvételét követte az első adszorpciós, a második deszorpciós, a második adszorpciós és a harmadik deszorpciós görbe pontjainak kimérése. Minden egyes deszorpciós mérés végén a próbatesteket abszolút száraz állapotúra szárítottuk.

Az eredmények értékelése

Hunter (1995, 1996, 1997) egy elméleti szorpciós modellt vezetett le. Feltételezi, hogy a sejtfalban lévő kapillárisok a teljes higroszkópos tartományban telítettek maradnak. A kapillárisok a vízleadás következtében zsugorodnak. Az elmélet két modellt olvaszt magába, egyrészt Banks és Barkas (1946) kör keresztmetszetű kapillárisokra vonatkozó deformációt leíró egyenletét, másrészt a relatív páratartalom és a kapilláris sugár közt kapcsolatot teremtő Kelvin egyenletet. A részletes levezetést mellőzve a végképlet:

$$\frac{M}{M_{RT}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\rho_{fa} \cdot M_{RT}}{100 \cdot \rho_{viz}}\right) \cdot \left(\frac{2-h}{h}\right)^{\alpha/2} - \frac{\rho_{fa} \cdot M_{RT}}{100 \cdot \rho_{viz}}}, \quad [1]$$

ahol

M – egyensúlyi nedvességtartalom, %;

M_{RT} – rosttelítettségi nedvességtartalom, %;

h – relatív páratartalom;

ρ_{fa} – sejtfal sűrűsége, 1530 kg/m^3 ;

ρ_{viz} – folyadékvíz sűrűsége, kg/m^3 ;

$\alpha = \rho_{viz} \cdot R \cdot T / G_{RT}$;

G_{RT} – nyíró rugalmassági modulusz rosttelítettségi állapotban, Pa;

R – gázállandó, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

T – abszolút hőmérséklet, K.

A modell tehát kapcsolatot teremt a relatív páratartalom (h), az egyensúlyi fanedvesség (M) és a nyíró rugalmassági modulusz (G_{RT}) között. A nyíró rugalmassági modulusz a jobboldali nevező kitevőjében (α) szerepel.

Hunter (1996) elemzéseivel megállapította, hogy fára vonatkozóan az $\alpha = 1$. A rosttelítettséget 32,5%-nak vette. Ezen érték Kelsey

(1957) méréseiből származik és valójában a maximális adszorpciós nedvességet takarja, így az itt közölt eredmények is ezen alapulnak. Tekintve azonban az akác alacsony higroszkóposági határát, jobbnak láttuk saját mérési eredményeinkkel dolgozni.

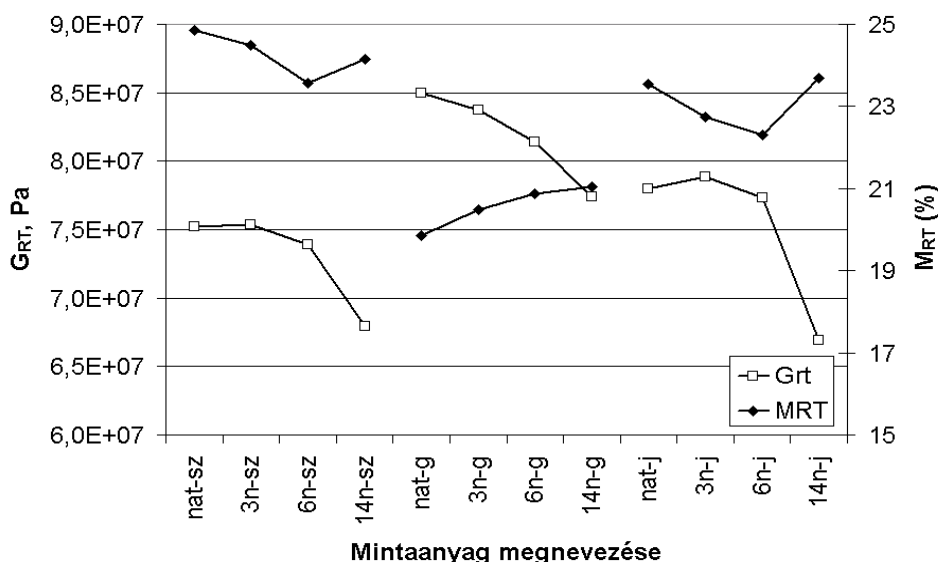
A modell pozitívuma, hogy fizikai jellemzők (elvileg elég a higroszkópos határt ismerni) ismeretében felrajzolható a szorpciós izoterma. Hunter (1997) eukaliptusz fára tesztelte elméletét és jó illeszkedést kapott, azaz a görbe jól lefedte a mérési pontokat.

Meglepő, hogy a 20% alatti relatív páratartalom tartományban is jól alkalmazható az egyenlet, mivel itt kapilláris vízről még nem beszélhetünk. 20% alatt nyilvánvalóan matematikai egyezőségről lehet csak szó, a valós jelenséget itt a modell már nem képes leírni, bár az adatok tárolására, interpolálásra használható.

A mért pontokra a fenti egyenletet illeszttem, azzal a különbséggel, hogy α -t nem egynek vettem, mivel mind a radiális-tangenciális irányok által meghatározott síkban érvényes nyíró rugalmassági modulusz (G_{RT}), mind a rosttelítettségi nedvességtartalom (M_{RT}) fafajonként eltérő értékeket vesz fel, valamint a gőzölés is nyilvánvalóan megváltoztathatja ezt a viszonyt. Előbbit látszik alátámasztani, hogy Hunter (1996) munkájával ellentétben $\alpha = 1$ helyettesítésre nagyon gyenge illeszkedés adódott, ill. a modell lényegesen túlbecsülte a rosttelítettségi nedvességtartalmat. Megjegyzem, hogy a nullával való osztás miatt $h = 0$ helyett $h=0,0001$ -t helyettesítettem az egyenletbe.

A **2. ábrán** a G_{RT} és M_{RT} értékek gőzölési időtől való függését láthatjuk az első adszorpciós folyamatra a különböző anyagokra. A nyíró rugalmassági modulusz és a rosttelítettségi nedvességtartalom szélsőértékeit az **1-3. táblázatok** tartalmazzák.

A rosttelítettségi nedvességtartalom értéke itt ténylegesen azt a nedvességtartalmat jelenti, amíg a G_{RT} értéke változik. Első deszorpciós folyamat során nem beszélhetünk egyértelmű rosttelítettségről, mivel itt a kezelés (gőzölés) növeli a fa nedvességtartalmát, akár a rosttelítettségi állapot fölé is, illetve a kezeletlen anyag élőnedves deszorpciójánál a kiindulási nedvességtartalom is a rosttelítettség fölé van. Így



2. ábra – A rosttelítettségi nedvességtartalom és a nyíró rugalmassági modulusz értékei a kezelések hatására

1. táblázat – A rosttelítettségi nedvességtartalom (M_{RT}) szélsőértékei

	Deszorpciós folyamat	Anyag	Adszorpciós folyamat	Anyag
Értéke max., %	de1 (51,04)*	14n szijács	ad1 24,58%	nat geszt
Értéke min., %	de3 19,00	nat geszt	ad2 18,74%	nat geszt

* – értéke kérdéses, mivel első deszorpciós folyamatra érvényes

de1 – első deszorpció; ad1 – első adszorpció; de2 – második deszorpció; ad2 – második adszorpció; de3 – harmadik deszorpció; xn – x napig tartó gőzölés

2. táblázat - A rosttelítettségi nedvességtartalom (M_{RT}) változása a 14 napos gőzölés hatására

	szijács	geszt	juvenilis fa
ad1	↓	↑	↑?
de2	↓	↑	↓
ad2	↓	↑	↓
de3	↓	↑	↓

M_{RT} meghatározására az első adszorpciós folyamattól kezdve van lehetőségünk.

Az M_{RT} értékében a 14 napos gőzölés hatására bekövetkezett változásokat a 2. táblázat mutatja.

A modell szerint tehát szijácsnál és juvenilis fánál a gőzölés csökkentette, míg gesztnél növelte az M_{RT} értékét.

Megállapíthatjuk, hogy a gesztnél a magasabb relatív páratartalmaknál egyensúlyi nedvességtartalom növekedést okozott a gőzölés. A modell tehát jól visszaadja a megfigyelt jelenséget.

A G_{RT} értéke minden anyagnál csökken a 14 napos gőzölés hatására. A gesztnél a csökkenés minden gőzölési fokozatnál megfigyelhető. A csökkenésből arra következtethetünk, hogy a mechanikai jellemzők általában csökkennek, ezt a már elvégzett vizsgálatok (Molnár és tsai 1994) szintén alátámasztják. Meredith (1953) szerint 80%-os G_{RT} növekedés tapasztalható, ha a fát rosttelítettségtől abszolút száraz állapotig szárítjuk. Bodig (1982) szerint vöröstölgyre 12%-os nedvességtartalomnál $G_{RT} = 248$ Mpa jellemző. A nedvességtartalom

3. táblázat – A nyírórugalmassági modulusz (G_{RT}) szélsőértékei

	Deszorpciós folyamat	Anyag	Adszorpciós folyamat	Anyag
Értéke max., %	de1 (51,04)*	14n szijács	ad1 24,58%	nat geszt
Értéke min., %	de3 19,00	nat geszt	ad2 18,74%	nat geszt

és a nyíró rugalmassági modulusz között (Meredith 1953) lineáris kapcsolatot feltételezve $248 \cdot [1-(30-12)/30 \cdot 0,8] \approx 160$ Mpa. A Hunter modell 134,6Mpa maximális értéket ad akácra, ami jó közelítésnek tekinthető, ha elfogadjuk, hogy az akác a tölgyéhez hasonló mechanikai értékekkel rendelkezik.

Illeszkedésvizsgálat

Az R^2 értéke:

deszorpciónál: 0,95652 (de1 14n szijács) –
0,99988 (de3 6n szijács)

adszorpciónál: 0,97502 (ad1 14n szijács) –
0,99882 (ad2 nat geszt).

A maradéktag:

deszorpciónál: 0,041 (de3 6n szijács) –
72,543 (de1 14n szijács)

adszorpciónál: 0,290 (ad2 nat geszt) –
10,684 (ad1 14n szijács).

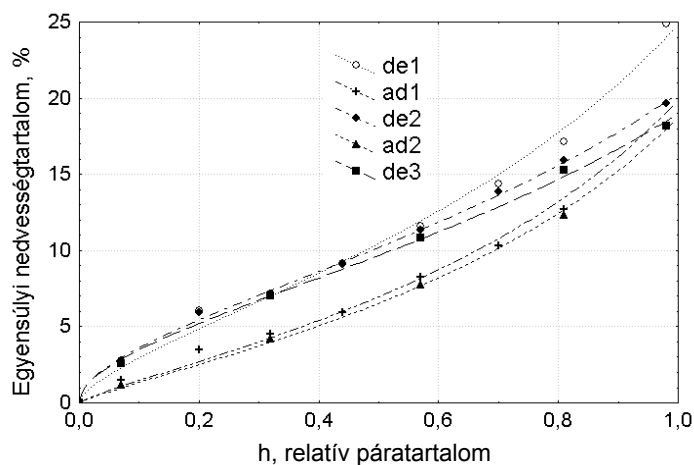
Összefoglalás

A Hunter modell alkalmazásával sikerült összekapcsolni az akác faanyag mechanikai viselkedését a vízfelvétellel, ill. a vízleadással. Az általam végzett vizsgálatok alapján egy ismert szorpciós izotermáról a modellel becsülhető a faanyag nyíró rugalmassági modulusza, ami a gyakorlatban egy nehezen mérhető mechanikai jellemző. A modellek alkalmazásánál fontos kérdés a számított görbének a mért pontokra való illeszkedése. Az R^2 és a maradéktag értékeket figyelve elmondhatjuk, hogy a modell jobban illeszkedik az adszorpciós folyamatok pontjaira. Az itt bemutatott vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a Hunter-modell jól illeszthető az izotermákra, példaként a natúr gesztanyag izotermáira való illesztést mutatjuk be a 3. ábrán.

A Hunter-modell elfogadható értéket ad G_{RT} és M_{RT} értékét illetően. A G_{RT} ilyen jellegű meghatározásával az irodalomban nem talákoztunk. Az itt bemutatott elemzések szerint jó közelítést ad a modell.

Irodalomjegyzék

1. Babiak, M, Németh, R. 1998. *Effect of steaming on the sorption isotherms of black locust wood*. Environment and Wood Science, Acta facultatis Ligniensis, Sopron, 64-68.
2. Babiak, M, Németh, R. 2000. *Evaluation of steaming effect on the wood-water system of Black locust wood by sorption theories*. Cost Action E15, 2nd Workshop on Quality Drying of Hardwood, Paper 14th. University of West Hungary, Sopron
3. Banks, W. H., Barkas, W. 1946. *Collapse of capillaries in the drying of porous gels*. Nature 158:341-342.
4. Hunter, A. J. 1995. *Equilibrium moisture content and the movement of water through wood above fibre saturation*. Wood Sci. Technol. 29:129-135.
5. Hunter A. J. 1996. *A complete theoretical isotherm for wood, based on capillary condensation*. Wood Sci. Technol. 30:127-131.
6. Hunter, A. J. 1997. *Application of the capillary isotherm*. Wood Sci. Technol. 31:317-330.
7. Kelsey, K. E. 1957: *The sorption of awter by wood*. Aust. J. Appl. Science (8) 1, 42.
8. Meredith R. 1953: *Mechanical properties of wood and paper*. Amsterdam: North Holland.
9. Molnár S, Peszlen I., Németh R., Fehér S. 1999a. *Determination of Selected Strength Properties*, Inco Copernicus Project Sub-task 6.1 Testing of Static Strength Properties
10. Molnár S., Komoróczy I., Peszlen I., Varga F-né, Szóják P-né, Horváth L., Fehér S., Horváth I. 1994. *Az akácfa hidrotermikus nemesítése atmoszférikus könnyűszerkezetes gőzölőkamrában*. Kutatási Jelentés, EFE, Sopron
11. Peralta, P. N. 1995. *Sorption of moisture by wood within a limited range of relative humidities*. Wood and Fiber Science (27) 1, 13-21
12. Bodig, J. 1982. *Mechanics os Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold Company. 685



3. ábra – A natúr gesztanyag izotermáinak mérési pontjaira illesztett görbék a Hunter modellel