

**TERMÉSZETES FAANYAG ANATÓMIAI FELÉPÍTÉSÉNEK HATÁSA  
A FELÜLETI MINŐSÉGRE  
MARÁSI MŰVELET ESETÉN**

**Doktori (Ph.D.) értekezés tézisszerű  
összefoglalója**

**Magoss Endre**  
okl. faipari mérnök

Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Soproni Egyetemi Karok  
2000

## 1. A KUTATÓMUNKA TÁRGYA és CÉLKITŰZÉSEI

A természetes faanyag mechanikai megmunkálása során a kialakuló felületi minőség már régóta fontos jellemzője a gyártott fa termékeknek. A faanyag fűrészeléskor keletkező „fűrészelési nyom” meghatározza az utólagosan leválasztandó réteg vastagságát, míg gyalulásnál, illetve marásnál a felületi minőség a végmegmunkálás szempontjából fontos. A kialakuló érdességet nagyon sok tényező befolyásolja. Ezek két nagy csoportra oszthatóak, mechanikai megmunkálás paraméterei és a faanyag anatómiai jellemzői. Ezek a hatások együttesen határozzák meg a kialakuló felületi érdességet. Általánosan megállapítható, hogy durva mechanikai megmunkálás (pl. fűrészelés) esetén a megmunkálási paraméterek okozta érdesség nagyobb nagyságrendű, mint az anatómia okozta érdesség. Finom felületi megmunkálás esetén viszont az anatómia hatása okozta érdesség nagyobb nagyságrendű lesz, mint a megmunkálás okozta érdesség.

A szakirodalmat áttanulmányozva a következő megállapítások tehetőek:

1. A szerzők abszolút többsége keresi a legmegfelelőbbnek vélt mérési és kiértékelési eljárást, és rámutat a feladat összetett jellegére, a sok befolyásoló tényező következtében.
2. Gyakorlatilag nem található szisztematikusan végzett mérési eredmények, amelyek változók közötti összefüggéseket adnának.
3. A fa anatómiájának hozzájárulása a kialakult érdességhez az eddigi vizsgálatokból nem állapítható meg. Sőt az anatómia hatásával nagyon kevés munka foglalkozik.
4. A meglévő szabvány ellenére az Abbott-görbe paramétereit nagyon kevesen használják, pedig az Abbott-görbe fontos információk hordozója. Nem vizsgálták, hogy az Abbott görbe paraméterei hogyan függnek össze az általánosan használt átlagos érdesség  $R_a$  és egyenetlenség  $R_z$  értékekkel.
5. Az ugyan régen ismert, hogy a késél kopása (a lekerekítési sugár növekedése) rontja a felületi érdességet, de máig sincs számszerűsítve kielégítő módon. Ugyanez a megállapítás vonatkozik a forgácsolási sebesség hatására is.

A fenti megállapítások alapján jelen munka főbb célkitűzéseit az eddigi fő hiányosságok határozzák meg. Ezek közül is a legfontosabb feladat a tömör faanyag anatómiai jellemzőinek meghatározása és ezen jellemzők hatása a felületi minőség jellemzőire. További feladat az Abbott-görbe jellemzőinek vizsgálata és esetleges korrelációs kapcsolatainak felderítése a felületi minőségi jellemzőkkel.

A késél kopásával a felületi sejtrétegek tömörödése jár együtt. Céлом a felületi deformáció érdességre gyakorolt hatásának felderítése, elsősorban az Abbott-görbe paramétereinek segítségével.

Céлом volt továbbá egy az anatómiai struktúrát jellemző szám megállapítása, amellyel a különböző fafajok egy rendszerbe sorolhatóak, és egységesen jellemezhetők a várható érdesség szempontjából.

## 2. A KUTATÓMUNKA MÓDSZERE, RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A vizsgálatokat elsősorban laboratóriumi körülmények között végeztem, és csak bizonyos kiegészítő vizsgálatokra került sor üzemi körülmények között.

A vizsgálatokhoz a kiválasztott fafajokból 300 mm hosszú, 60 mm széles és 20 mm vastag próbatesteket készítettem. A vizsgálatokba bevont fafajokat úgy választottam meg, hogy a gyakorlatban előforduló lehetséges belső struktúrákat ezek magukba foglalják. A vizsgálatba

bevolt fafajok a következők voltak: balsafa (*Ochroma lagopus*), nyugati tuja (*Thuja occidentalis*), fehér nyár (*Populus alba*), gyertyán (*Carpinus betulus*), erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), lucfenyő (*Picea abies*), vörösfenyő (*Larix decidua*), fehér akác (*Robinia pseudo-acacia*), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), bükk (*Fagus sylvatica*), magas kőris (*Fraxinus excelsior*), oregoni mirtusz (*Umbellularia Californica*), ébenfa (*Diospyros celebica*). Minden fafajból 4 mintadarab lett kivágva radiális orientációval.

Az egyes próbadarabokon 4 mérőfelületet hoztam létre, amelyek egymáshoz viszonyítva 0.3 mm-rel el voltak tolva függőleges irányban. Ez egyrészt a próbadarabok számát virtuálisan megnövelte, másrészt azt a hatást is igyekezett figyelembe venni, hogy a létrehozott felület a belső edényekhez viszonyítva mindig véletlenszerűen helyezkedik el.

A próbadarabokat egységesen CNC felsőmarógépen munkáltam meg 50 m/s kerületi sebességgel. A megmunkáláshoz éles szerszámot használtam, amelynek az él lekerekítési sugara 10  $\mu\text{m}$  körül volt.

Az érdesség meghatározására MAHR S3P típusú tús letapogató berendezést alkalmaztam, amely egyrészt az összes ma használatos érdességi paramétert, beleértve az Abbott-görbe paramétereit is, automatikusan meghatározta. A mérések általában szálirányra merőlegesen történtek, azonban vizsgálatokat végeztem arra nézve is, hogy a mérési irány a szálirányhoz viszonyítva hogyan befolyásolja az érdességet.

A későbbi adatfeldolgozáshoz szükség volt a próbadarabok főbb anatómiai jellemzőire, az edények illetve tracheidák és rostok belső átmérőire, azok eloszlására, és az egységnyi keresztmetszetben található darabszámra, az évgyűrű szélességre, a korai és kései pászta szélességére, valamint a térfogati sűrűsége.

### 3. TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

1. A forgácsolási sebesség hatása az érdességre:

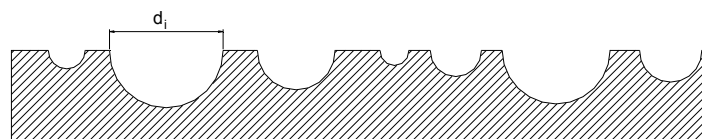
A forgácsolási sebességet 10-50 m/s között változtatva meghatároztam az  $R_z$  egyenetlenség magasság és az Abbott-görbe paramétereinek változását a forgácsolási sebesség függvényében. Érdekes eredmény, hogy a vizsgált fafajoknál (erdei fenyő, bükk)  $R_z$  változását az  $R_{vk}$  jellemzőnek a változása okozza, míg az  $R_k$  és  $R_{pk}$  jellemzők csak igen kis mértékben csökkennek a forgácsolási sebesség növelésekor. Az 50 m/s forgácsolási sebességhez közeledve az érdességi paraméterek javulása lényegesen csökken.

2. A mérés száliránnyal bezárt szögének hatása:

A méréseket általában szálirányra merőlegesen szokás végezni, én is így végeztem, ugyanakkor kíváncsi voltam, hogy a mérési irány és a száliránnyal bezárt szög hogyan befolyásolja az érdességi mutatókat. A vizsgálatok minden fafajra egyértelműen mutatták, hogy a legkisebb érdesség száliránnyal párhuzamosan mérhető. A száliránnyal bezárt szög növekedésével az egyenetlenség magasság parabolikusan növekszik, és maximális értékét az 50-70°-os tartományban éri el, és utána a 90°-os értékig kis mértékben csökken.

3. A fafajok belső struktúrájának hatása az érdességre

A struktúra hatásának vizsgálatához elméleti megfontolások alapján egy struktúra számot vezettem be, amely tulajdonképpen a felület kialakításához átvágott edény és rost keresztmetszetek összege egységnyi hosszra vonatkoztatva (1. ábra).



1. ábra. Fa felületi modellje

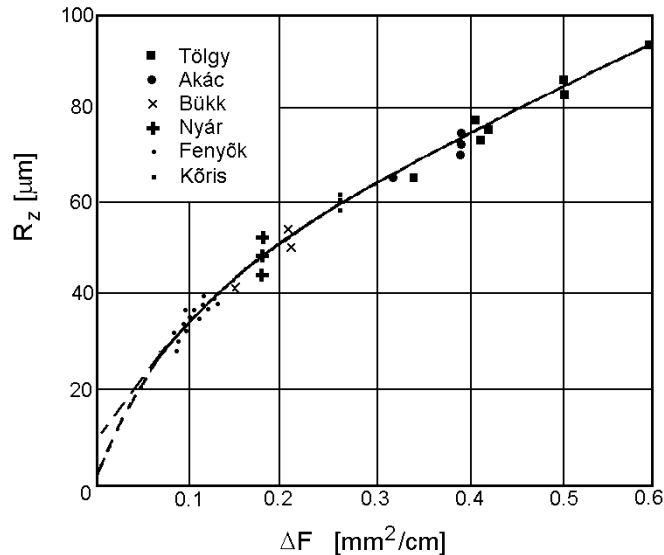
A struktúra szám az alábbi egyenletből számítható:

$$\Delta F = \frac{\Pi}{8} \left[ a \cdot \left( \sqrt{n_1} \cdot d_1^2 + \sqrt{n_2} \cdot d_2^2 \right) + b \cdot \left( \sqrt{n_3} \cdot d_3^2 + \sqrt{n_4} \cdot d_4^2 \right) \right] \quad (1)$$

ahol:

- $n_1 \dots n_4$  - az edények, illetve tracheidák és rostok száma [db/cm<sup>2</sup>];
- $d_1 \dots d_4$  - közepes belső átmérők;
- $a, b$  - korai, illetve a kései pászta aránya.

A mérési eredmények feldolgozása alapján összefüggést találtam az  $R_z$  egyenetlenség magasság és a  $\Delta F$  struktúra szám között, amelyet a 2. ábra szemléltet.



2. ábra. A struktúra szám  $\Delta F$  és az  $R_z$  egyenetlenség magasság összefüggése

A vizsgálatok fontos eredménye, hogy a különböző fajok a struktúra szám használatával egy görbe mentén ábrázolhatók, és a görbe tulajdonképpen bármilyen struktúra számmal rendelkező fajra megadja az elérhető minimális érdességet. A 2. ábra görbéje egyszerű hatvány függvénnyel írható le:

$$R_z = 124 \cdot \Delta F^{0.55}; \quad [\mu\text{m}] \quad (2)$$

4. Az átlagos érdesség és az egyenetlenség magasság  $R_z$  összefüggései az Abbott-görbe jellemzőivel.

Mivel a különböző érdességi paraméterek számítása ugyanabból az érdességi profilból történik, ezért érdekes volt megvizsgálni, hogy ezen érdességi paraméterek között fennállhat-e belső összefüggés. A vizsgálati eredmények feldolgozása alapján az  $R_a$  átlagos érdesség és az Abbott-görbe összevont paraméterei ( $R_{pk}+R_k+R_{vk}$ ) között, függetlenül a fajtától, szoros összefüggés áll fenn. Az  $R_z$  paraméter és az összevont ( $R_{pk}+R_k+R_{vk}$ ) paraméter között nem áll fenn szoros egyértelmű összefüggés, de az eltérések szisztematikus törvényszerűségeket mutatnak. A feldolgozás során kiderült, hogy az egyes fajokra tapasztalható görbe eltolódások az  $(R_k+R_{vk})/R_z$  viszonyszám függvénye.

A vizsgálatok egyértelműen mutatták, hogy az érdességi paraméterek a faanyagok térfogati sűrűségével nincsenek korrelációban, egyedül az Abbott-görbe  $R_{pk}$  paramétere mutatott lazább korrelációs összefüggést a térfogati sűrűséggel.

5. Anyaghiány a felületben

A felület érdessége következtében egy felületi anyaghiány definiálható, amely a felületen lévő bemélyedések térfogatát jelenti egységnyi felületre vonatkoztatva. Az Abbott-görbe

paraméterei lehetőséget adtak arra, hogy ezt az anyagiányt meg lehessen határozni. A kísérleti eredmények feldolgozása alapján egyértelmű összefüggés adódott az anyagiány és az  $R_z$  paraméter között, függetlenül a fafajoktól.

6. A szerszám él kopás hatása a felületi érdességre

Különböző kopottságú szerszámmal 10-53  $\mu\text{m}$  él sugár között vizsgáltam a felületi érdesség változását 4 fafajra. A vizsgálati eredmények feldolgozása alapján az  $R_z$  érdességi paraméter és az él sugara között lineáris összefüggés adódott. Az Abbott-görbe paramétereinek vizsgálata egyértelműen mutatta, hogy a szerszám él kopásához az  $R_k$  paraméter növekedése tartozik, és egyértelműen utal a szerszám él kopására.

A szerszám él kopásának további hatása, hogy a felületi profil hullámossá válik és az  $R_k$  paraméter növekedése következtében az anyagiány a felületben drasztikusan növekedik.

Ezek a jelenségek azzal vannak összefüggésben, hogy a nagy lekerekítésű sugarú szerszám forgácsolás közben az alatta lévő felületet plasztikusan deformálja, vagyis roncsolja. A felületi minőség romlását elsősorban nem az érdességi paraméterek drasztikus romlása okozza, például tölgy esetében az  $R_z$  érték a szerszám él kopulásakor alig változott, hanem a roncsolt felület instabil állapota.

#### 4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

1. A forgácsolási sebesség növelése a 10-50 m/s tartományban javítja a felületi érdességet, alapvetően az  $R_{vk}$  redukált bemélyedés mélység paraméter csökkenése révén.
2. Meghatároztam az  $R_z$  egyenetlenség magasság érdességi paraméter és a mérési irány száliránnyal bezárt szöge közötti összefüggést, és magyarázatát adtam a görbék maximumának közbülső szögértékek mellett. Kimutattam az  $R_p$  érdesség profilhegy magasság értékének relatív csökkenését az  $R_z$  egyenetlenség magasság értékhez viszonyítva a bezárt szög növekedésekor.
3. Bevezettem a  $\Delta F$  struktúra számot:

$$\Delta F = \frac{\Pi}{8} \left[ a \cdot \left( \sqrt{n_1} \cdot d_1^2 + \sqrt{n_2} \cdot d_2^2 \right) + b \cdot \left( \sqrt{n_3} \cdot d_3^2 + \sqrt{n_4} \cdot d_4^2 \right) \right]$$

ahol:

- $n_1 \dots n_4$  - az edények, illetve tracheidák és rostok száma [db/cm<sup>2</sup>];
- $d_1 \dots d_4$  - közepes belső átmérők;
- $a, b$  - korai, illetve a kései pászta aránya.

amely lehetővé tette a különböző struktúrájú fajok érdességének együttes ábrázolását, és ezzel közös törvényszerűség felállítását:

$$R_z = 124 \cdot \Delta F^{0.55}; \quad [\mu\text{m}]$$

ahol:  $\Delta F$  mm<sup>2</sup>/cm-ben helyettesítendő.

4. Összefüggéseket találtam és állítottam fel az általánosan használt  $R_a$  átlagos érdesség és  $R_z$  egyenetlenség magasság paraméterek, valamint az Abbott-görbe paraméterei ( $R_{vk}$ ,  $R_k$ ,  $R_{pk}$ ) között. Az  $R_a$  az összevont ( $R_{vk} + R_k + R_{pk}$ ) paraméter 0.8-es hatványával arányos. Az  $R_z$  és az összevont paraméter ( $R_{vk} + R_k + R_{pk}$ ) közötti összefüggés a következő:

$$R_z = A \cdot \left( R_{pk} + R_k + R_{vk} \right)^{0.65} \quad [\mu\text{m}]$$

ahol az 'A' fafajra jellemző állandó, amely azonban szintén kifejezhető az Abbott-görbe egyes paramétereivel.

5. Kimutattam, hogy a térfogati sűrűség csak abban az esetben lehet meghatározható paraméter az érdesség szempontjából, ha a fában lévő üregek egymáshoz hasonló alakúak, darabszámúak és eloszlásúak lennének. Így a természetes faanyag térfogati sűrűsége nem meghatározó paraméter a felületi érdesség szempontjából.
6. Meghatároztam az anyagiány egyenértékű vastagsága  $\Delta h_e$  összefüggését az Abbott-görbe paramétereinek függvényében:

$$\Delta h_e = R_{pk} \cdot \left(1 - \frac{M_{r1}}{2}\right) + \frac{R_k}{2} + \frac{R_{vk} \cdot (1 - M_{r2})}{2} \quad [\mu\text{m}]$$

ahol  $M_{r1}$  és  $M_{r2}$  decimálisan helyettesítendő.

Az anyagiány korrelációs összefüggésben van az egyenletlenség magasság  $R_z$  érdességi paraméterrel.

7. Meghatároztam a szerszám élkopás hatását az érdességre. Kimutattam az Abbott-görbe jelentős torzulását, és az  $R_k$  értékek szisztematikus növekedését. Utóbbi alapvetően hozzájárul az anyagiány drasztikus növekedéséhez. A felületi minőség romlását alapvetően nem az  $R_z$  érték növekedése jelenti, hanem a felső felületi rétegek deformációja (sejtsorok teljes összenyomása, felületi hullámosság).

## 5. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

1. Magoss E.: Forgácslap gyártósorra telepíthető folyamatos (on-line) minőségellenőrző rendszer lehetőségének vizsgálata. Faipar, Nr.1. 1994.
2. E. Magoss, F. Divós: Qualitätskontrolle der Festigkeit von Spanplatten, basieren auf der während des laufenden Produktionsprozesses durchgeführten „on line“ Schwingungsmessung, First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood. Proceedings 1994.
3. Magoss, E., Mednyánszky L.: CAD-CAM-CNC rendszerek alkalmazása a faiparban, Magyar Asztalos Nr.9. 1995.
4. Dr. Sitkei Gy., Dr. Csanády E., Magoss E.: Nem lineáris reológiai módszer mezőgazdasági anyagok tömörítésének leírása, OTKA zárójelentés. 1996.
5. Magoss E.: Gördülőcsapágyak állapotvizsgálatai módszerei, Magyar Asztalos. Nr.6. 1997.
6. Magoss E.: Forgácslapok dinamikus rugalmassági modulusának meghatározása, Roncsolásmentes Faanyagvizsgálat. Egyetemi jegyzet. 53-60. o. 1999.
7. Magoss, E. and Sitkei, G.: Influence of Wood Structure on the Surface Roughness at Milling Operations, Proceedings of the 4<sup>th</sup> ICWSF. 1999.