

Magoss Endre

TERMÉSZETES FAANYAG ANATÓMIAI
FELÉPÍTÉSÉNEK HATÁSA A FELÜLETI
MINŐSÉGRE
MARÁSI MŰVELET ESETÉN

Doktori (Ph.D.) értekezés

Témavezető:
Prof. emeritus Dr Sitkei György
MTA levelező tagja

Nyugat-Magyarországi Egyetem
Soproni Egyetemi Karok
2000

TARTALOMJEGYZÉK

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | BEVEZETÉS | 6 |
| 2 | A FELÜLETI MINŐSÉG | 8 |
| 2.1 | A FELÜLETI ÉRDESSÉG MÉRŐ BERENDEZÉSEK | 9 |
| 2.2 | MECHANIKUS ÉS ELEKTROMOS SZŰRÉS | 13 |
| 2.2.1 | Mechanikus szűrés | 14 |
| 2.2.2 | Elektromos szűrés | 14 |
| 2.3 | FELÜLETI JELLEMZŐK ALAPFOGALMAI | 15 |
| 2.4 | EDDIGI MÉRÉSEK ÉS VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI (IRODALMI ÁTTEKINTÉS) | 18 |
| 3 | ELMÉLETI MEGFONTOLÁSOK, CÉLKITŰZÉS | 26 |
| 4 | A KISÉRLETEK PROGRAMJA ÉS METODIKÁJA | 27 |
| 4.1 | PRÓBATESTEK KIVÁLASZTÁSA, JELLEMZÉSE, ELŐKÉSZÍTÉSE | 27 |
| 4.2 | FELHASZNÁLT MEGMUNKÁLÓ ÉS MÉRŐESZKÖZÖK | 28 |
| 4.2.1 | Mérendő felületet kialakító berendezések | 29 |
| 4.2.2 | Felhasznált mérőeszközök | 29 |
| 4.2.3 | Kiértékelő eszközök | 31 |
| 4.3 | KISÉRLETEK LEÍRÁSA | 31 |
| 4.3.1 | A forgácsolási sebesség hatásának vizsgálata | 31 |
| 4.3.2 | A faanyag szálirány hatásának vizsgálata | 32 |
| 4.3.3 | A faanyag felületi jellemzőinek megállapítása | 33 |
| 4.3.4 | A faanyag anatómiai jellemzőinek meghatározása | 35 |
| 4.3.5 | A szerszámél kopottságának hatása a felületi minőségre | 35 |
| 5 | A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK, A KUTATÓMUNKA EREDMÉNYEI | 37 |
| 5.1 | ELŐZETES VIZSGÁLATOK | 37 |
| 5.2 | MEGFIGYELT ANOMÁLIÁK, MÓDSZERTANI PROBLÉMÁK | 39 |
| 5.3 | A FORGÁCSOLÁSI SEBESSÉG HATÁSÁNAK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI | 44 |
| 5.4 | A FORGÁCSOLÁSI IRÁNY ÉS A FAANYAG SZÁLIRÁNY KÖZÖTTI SZÖG HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA | 45 |
| 5.5 | A FAFAJOK BELSŐ STRUKTÚRÁJÁT JELLEMZŐ SZÁM KERESÉSE | 46 |
| 5.6 | A STRUKTÚRA SZÁM, AZ ÉRDESSÉG ALAPÖSSZEFÜGGÉSE | 48 |
| 5.7 | AZ ÁTLAGOS ÉRDESSÉG R_A ÉS AZ ÉRDESSÉG MÉLYSÉG R_z PARAMÉTEREK ÖSSZEFÜGGÉSE AZ ABBOTT-GÖRBE JELLEMZŐIVEL (R_{PK} , R_K , R_{VK}) | 52 |
| 5.8 | ANYAGHIÁNY A FELÜLETBEN | 55 |
| 5.9 | A SZERSZÁMÉL KOPÁS HATÁSA A FELÜLETI ÉRDESSÉGRE | 57 |
| 5.10 | AZ ÉRDESSÉGI ADATOK SZÓRÁSA | 61 |
| 5.11 | AZ ŰZEMI MÉRÉSEK TAPASZTALATAI | 62 |
| 5.12 | AZ ÉRDESSÉGI PARAMÉTEREK ALKALMAZHATÓSÁGA | 63 |
| 6 | TÉZISEK | 65 |
| 7 | IRODALOMJEGYZÉK | 67 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 8 | MELLÉKLET | 70 |
| 8.1 | KIVONAT A FORGÁCSOLÁSI SEBESSÉG HATÁSÁNAK MÉRÉSI EREDMÉNYEIBŐL | 71 |
| 8.2 | KIVONAT FAANYAG SZÁLIRÁNY HATÁSÁNAK MÉRÉSI EREDMÉNYEIBŐL | 73 |
| 8.3 | KIVONAT A FAFAJOK BELSŐ PÓRUSMÉRET ELOSZLÁSÁNAK MÉRÉSI EREDMÉNYEIBŐL | 77 |
| 8.3.1 | Erdei fenyő | 78 |
| 8.3.2 | Lucfenyő | 79 |
| 8.3.3 | Vörösfenyő | 80 |
| 8.3.4 | Oregoni mirtusz | 81 |
| 8.3.5 | Fehér nyár | 82 |
| 8.3.6 | Kocsánytalan tölgy | 84 |
| 8.3.7 | Fehér akác | 86 |
| 8.3.8 | Bükk | 88 |
| 8.4 | KIVONAT A LÉPCSŐZETESEN MEGMUNKÁLT PRÓBATESTEK MÉRÉSI ADATAIBÓL | 91 |
| 8.4.1 | Erdei fenyő | 91 |
| 8.4.2 | Lucfenyő | 92 |
| 8.4.3 | Nyugati tuja | 93 |
| 8.4.4 | Vörösfenyő | 94 |
| 8.4.5 | Bükk | 95 |
| Nyár | | 95 |
| 8.4.7 | Tölgy | 96 |
| 8.4.8 | Akác | 97 |
| 8.4.9 | Kóris | 98 |
| 8.5 | KIVONAT AZ ÜZEMI MÉRÉSEK EREDMÉNYEIBŐL | 99 |
| 8.6 | KIVONAT A TÉRFOGATI SŰRŰSÉG SZERINT VÁLOGATOTT PRÓBATESTEK MÉRÉSI EREDMÉNYEIBŐL | 100 |
| 8.6.1 | Ébenfa | 100 |
| Tölgy | | 100 |
| 8.6.3 | Gyertyán | 101 |
| 8.6.4 | Akác | 101 |
| 8.6.5 | Oregoni mirtusz | 102 |
| 8.6.6 | Nyár | 102 |
| 8.6.7 | Erdei fenyő | 103 |
| 8.6.8 | Lucfenyő | 103 |
| 8.6.9 | Balsafa | 104 |
| 8.7 | KIVONAT A KOPÁS ÉS FELÜLETI ÉRDESSÉG KAPCSOLATÁNAK EREDMÉNYEIBŐL | 105 |
| 8.7.1 | Erdei fenyő | 105 |
| 8.7.2 | Bükk | 107 |
| 8.7.3 | A mért kopás adatok | 109 |
| 8.8 | MÉRÉSI ADATOK ELOSZLÁSA ERDEI FENYŐ ÉS TÖLGY FAFAJ ESETÉN | 110 |
| 8.9 | ÁBRAJEGYZÉK | 112 |
| 8.10 | TÁBLÁZATJEGYZÉK | 114 |
| 9 | KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS | 115 |

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

| Jel | Jelentés | Jel | Jelentés |
|-----------------------|--|------------|--|
| R_a | átlagos érdesség DIN 4768, ISO 4287/1, DIN EN ISO 4287 | α | hátszög |
| R_z | egyenetlenség magasság DIN 4768/1, DIN EN ISO 4287 | β | élszög |
| W_t | hullám mélység DIN 4774, DIN EN ISO 4287 | γ | homlokszög |
| S_m | közepes profilelem távolság DIN4762 (profil típus függő) | e_z | egy élre jutó előtolás |
| F_a | formaeltérés mélysége | z | élek száma |
| P_t | profilmélység DIN 4771, DIN EN ISO 4287 | t_1 | kés ütés mélysége |
| I_m | mért szakasz | D | szerszám élkör átmérő |
| I_v | ráfutási szakasz | e | előtolás |
| I_n | kifutási szakasz | n | fordulatszám |
| I_t | teszt szakasz | t | idő |
| I_e | rész szakasz | A | amplitúdó |
| λ_c (Cut off) | határ hullámhossz | f | frekvencia [Hz] |
| R_{max} | maximális érdesség mélység DIN EN ISO 4287 | ω | körfrekvencia |
| C | az ún. vágóvonalak távolsága | F_{isz} | leszorító erő |
| C_{ref} | referencia távolság | E | rugalmassági modulus |
| R_k | anyagtartalom görbe ún. mag részének mélysége | ν | Poisson-állandó |
| R_{pk} | redukált kiemelkedés magasság | s | lapka vastagság |
| R_{vk} | redukált bemélyedés mélység | H | fogásmélység |
| A_1 | kiemelkedések keresztmetszete | Δy | él visszahúzódnak |
| A_2 | bemélyedések keresztmetszete | n_i | egységnyi felületre vonatkoztatott darabszám |
| M_{r1} | a magrész „kisebbik” anyagtartalom értéke | d_i | fa anatómiai jellemző mérete |
| M_{r2} | a magrész „nagyobbik” anyagtartalom értéke | ΔF | ún. felületi anyaghiány |
| R_p | érdesség profilhegy magasság DIN EN ISO 4287 | a | korai pászta aránya |
| R_v | érdesség profilvölgy mélység DIN EN ISO 4287 | b | kései pászta aránya |
| R_{zi} | érdesség mélység DIN EN ISO 4287 | SN | struktúrát jellemző szám |
| r | lekerekítési sugár | LM | ún. anyaghiány |
| L | formaeltérés hossza | I | korrelációs együttható (nem lineáris eset) |
| A_w | hullám távolság | | |

1 BEVEZETÉS

A természetes faanyag mechanikai megmunkálása során a felületén különböző rajzolatok alakulnak ki. Ezek a rajzolatok, amelyek a fa anatómiai felépítéséből adódnak, már régóta fontos esztétikai jellemzői a fa felületeknek. A vizuális minősítés mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a felületek tapintás útján történő minősítése. Míg a textúrák kialakulását főleg az anatómiai felépítés és a megmunkálási irány szabják meg, addig a kialakuló felület minőségére a megmunkálási paraméterek is jelentős befolyással vannak. A faanyag marási folyamatának optimalizációjának egyik célja ma már a minél simább felület létrehozása, természetesen az energiafelhasználás és a gazdaságosság figyelembevételével. Főleg az ún. hidrofejes marószerszámok megjelenése óta a tömörfa megmunkáló sorok műveleti sorrendjéből a csiszolási műveletet igyekeznek kihagyni, így a marási folyamat után a munkadarab egyből felületkezelésre kerülhet. A felületkezelés sikerességét pedig a felület minősége (pl. szárfelhúzóadás) befolyásolja. Ugyanakkor a félkészgyártmányokat gyártó üzem esetén az értékesítést az alak- és mérethűség mellett a keletkező felület minősége is nagymértékben befolyásolja. Fűrészelt felületek érdekessége meghatározza az utólagosan leválasztandó réteg vastagságát.

Mindezidáig a fa felületek minőségének számszerűsítése nem történt meg, sőt kimondottan fa felület érdekességének mérésére kialakult módszer sincs, bár rész megoldások ismertek. A fémipar már régóta foglalkozik a megmunkált fémfelületek felületi érdekességének meghatározásával és jellemzésével. A felületi érdekesség mérésnek különböző módszereit és jellemző számait alakították ki. Ezeket szabványokban illetve nagyobb gyárak (főleg autógyárak) gyártási normákban rögzítették. A kialakult mérési eljárások illetve jellemzők a fémek és a faanyag alapvetően különböző felépítése miatt automatikusan nem vehetők át. Míg a fémek felépítése makroszinten homogénnek és izotrópnak tekinthető, a természetes faanyag kimondottan inhomogén és anizotróp. Az inhomogenitást főleg az okozza, hogy a faanyag sejttöregekből és a sejtfalak szövetéből áll, tehát üregeket tartalmaz. További inhomogenitást okoz az évgűrű korai illetve késői pásztára oszlása, a fatest szijácsra és gesztre osztása valamint az ággöcsök jelenléte. A természetes faanyagnál egymásra merőleges anatómiai főirányokat különböztetünk meg: rost-, sugár- és hűrirány. Ennek alapján a faanyagot ortogonálisan anizotrópnak, röviden ortotrópnak szokták nevezni. A faanyag felépítése a fa élete, működése szempontjából nagyon célszerű és hasznos, de a felületi érdekesség általános törvényszerűségeinek meghatározását nagyon megnehezíti.

A fa anatómiai felépítése mellett a megmunkálási paraméterek alkotják a kialakuló felület minőségét szintén alapvetően befolyásoló tényezők csoportját. A megmunkálási folyamat optimalizációjakor ezeket a paramétereket rögzítik, azonban a vágóél élessége a megmunkálás során változik. Mivel a kopottság mértékét csak a szerszám kiszerezésével lehetne megállapítani, egy megfelelően kialakított felületi érdekesség jellemzőből következtetni lehetne a szerszám kopottságára. Itt meg kell jegyezni, hogy a szerszám kopás megmunkálás közbeni mérésére rezgésméréssel is következtetni lehet, de ennek kidolgozása még nem fejeződött be.

A természetes faanyag felületi érdesség mérésének és kiértékelésének megoldása röviden a következő előnyökkel járna:

- A megmunkált felületek összehasonlíthatósága (a tapintás szubjektívítésének kiküszöbölése, félkészgyártmányok);
- folyamatos megmunkáló soroknál, ahol a csiszolási művelet kimarad nagy mennyiségű selejt gyártásának elkerülése;
- a felületi érdességi jellemzőből következtetni lehetne a szerszám él kopottságára, így a korai illetve kései élezés elkerülhető lenne;
- a felület hullámossági jellemzőiből következtetni lehetne a szerszám élkörfutására és a megmunkálás rezgésviszonyaira.

A fenti gyakorlati feladatok megoldásához azonban először a fa felületi minőségének (érdességének) alapvető összefüggéseit kell megismerni.

2 A FELÜLETI MINŐSÉG






A mechanikailag megmunkált felületek sohasem tökéletesen simák, hanem az alapanyagtól és a megmunkálási eljárástól függően többé-kevésbé roncsoltak. Tökéletesen sima felületet nem lehet előállítani. Amennyiben felnagyítjuk a felületet, egy hegyvidékhez hasonlatos képződményt láthatunk, amely különböző szélességű és mélységű völgyekkel van szabdalva. Így az is érthetővé válik, hogy a mechanikailag gyártott alkatrész mindig valamilyen mértékben és formában eltér az ideálistól. Ezeket az eltéréseket a DIN 4760-os norma gyűjtemény fém felületek esetében a következőképpen osztja fel:

1. Forma- és helyzeteltérések;
2. Hullámosság;
3. Érdesség.

A forma- és helyzeteltéréseket a szakirodalom durva alaki eltéréseknek, míg a hullámosságot és az érdességet finom alaki eltérésnek is nevezi.

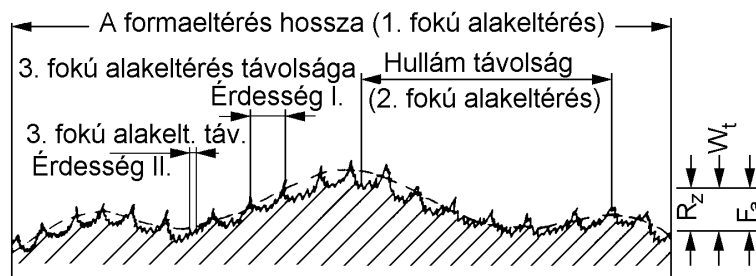
A teljes felosztás a következő /DIN 4760/:

1. táblázat. Alakeltérések felosztása (DIN 4760)

| Alakeltérés | Megnevezése | Szabvány, ill. norma |
|--|--|----------------------|
| 1. Fok: formaeltérés  | Egyenesség, Síklapúság, Köralak, Hengeresség, Adott profil alaktúrése, Adott felület alaktúrése, | DIN ISO 1101 |
| 2. Fok: hullámosság  | Hullámosság | DIN 4774 |
| 3. Fok  | Érdesség I. (barázdák) | DIN4771 |
| 4. Fok  | Érdesség II. (hornyok, pikkelyesedés, gödrösség) | DIN 4762 |
| 5. Fok <i>Egyszerű képi megjelenítés nem lehetséges.</i> | Érdesség III. (szövetszerkezet) | DIN 4768 |
| 6. Fok <i>Egyszerű képi megjelenítés nem lehetséges.</i> | Az anyag rácsszerkezetének felépítése | DIN 4776 |
|  | 1-4. fokú alakeltérések összetevődése. | |

Általában a felületi érdesség mérés 1-4. fokú alakeltérésekkel foglalkozik, az 5., 6. fok az anyagvizsgálatok tárgykörébe tartozik. Rendszerint a bemutatott 1.4 alatti alakeltérések eredményezik a tényleges felületet. A tényleges profil a mérés technikai eszközökkel meghatározott (valóságos) profil, ahogyan azt a mérés összes hibájával mutatja. Alakhibának nevezzük az 1 és 2 alatti alakeltéréseket, a 3..5 alatti alakeltérések pedig felületi érdességnek.

Az egymásra rakódott 1-4. fokú alakeltérések értelmezése látható az 1. ábrán:



1. ábra. Az 1-4. fokú alakeltérések értelmezése

A formaeltérés, a hullámosság és az érdesség függőleges és vízszintes mérete között a következő empirikus összefüggések az irányadók [41]:

A formaeltérés hossza $/L/$ legalább 1000-szer nagyobb mint a formaeltérés $/F_a/$ maga. A hullámosságot periodikusan fellépő alaki eltérésként értelmezzük. A hullám távolság $/A_w/$ és a hullám amplitúdó $/W_t/$ viszonya a 100:1 és 1000:1 közé kell, hogy essen. Az érdesség apró barázdáinak távolsága $/S_m/$ 5-10-szerese a mélységének $/R_z/$, és ez az alaki eltérés horizontálisan szabályos vagy szabálytalan távolságonként visszatér. Az ismétlődés módja a megmunkálástól illetve faipar esetén a az alapanyagtól is függ.



Az ún. helyi alak eltéréseket mint például a karcolás elméletileg nem lenne szabad az érdességhez sorolni, de gyakran különválasztásuk nem megoldható. A lokális hiba mélysége legalább ötszöröse a szélességének. Nagy edényű természetes faanyag esetén a lokális felületi hiba a szövetszerkezeti érdességhez tartozik.

2. ábra. Lokális felületi hiba

Az alaki eltérések fenti horizontális felosztása mellett gyakran szükséges a munkadarabok tényleges geometriai alakjának és elméleti alakjának összehasonlítása. A fentiek alapvetően fémekre vonatkoznak, fa esetében a szövetszerkezeti érdesség sokkal nagyobb jelentőséggel bír, azonban ez részleteiben még nem ismert.

2.1 A felületi érdesség mérő berendezések

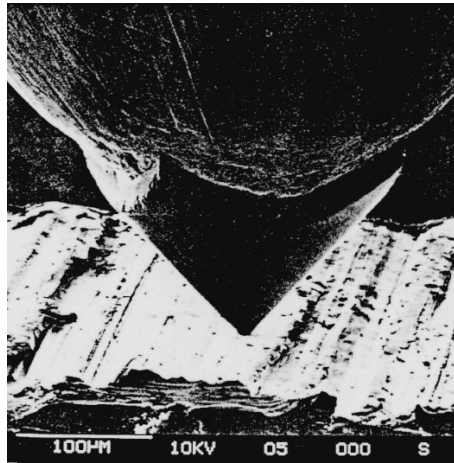
A felület érdesség mérési eljárások az alaki eltérések közül a 2-4. fokú eltéréseket képesek meghatározni megfelelő feltételek között, és így is csak korlátozott pontossággal.

2. táblázat. Felület érdesség mérési eljárások WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995) [59]

| Mérési eljárás | Roncsolásos | Érintéses | Érintésmentes | |
|------------------------|---|---|--|--|
| | | | Optikai | Nem optikai |
| Profil kijelzéssel | Alagút effektus elvén működő raszter mikroszkóp | Mechanikus tús letapogató (perthométer) | Optikai lézeres letapogató: - ún. lézerefókusz eljárás - ún. triangulációs eljárás | |
| Profil kijelzés nélkül | Flemming féle gél területi teszt | | | Kapacitív eljárás Pneumatikus eljárás |

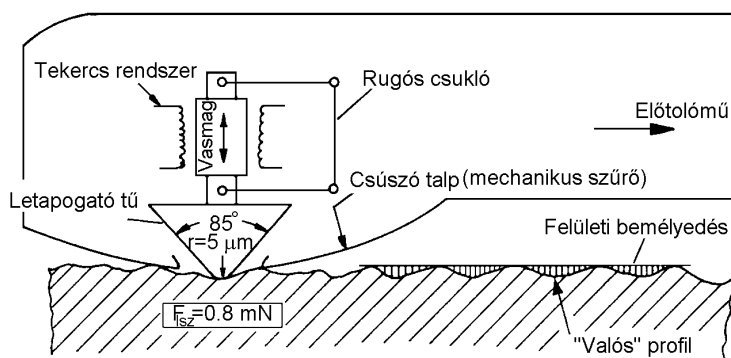
A fent felsorolt módszerek közül legszélesebb körben a mechanikus tűs letapogatókat ún. perthometereket alkalmazzák, illetve a lézeres letapogató rendszerekkel (lézer fókusz eljárás, illetve lézer triangulációs eljárás) folynak kísérletek.

A mechanikus tűs letapogató berendezések egy kétdimenziós profilt vágnak ki a tényleges 3 dimenziós felületből. Természetesen a tűs letapogatás nem teszi lehetővé a „takart” üregek meghatározását. A tű mindig meghatározott geometriai méretekkel (lekerekítési sugár, kúpszög) rendelkezik. Ezek a geometriai méretek egy ún. mechanikai szűrést hajtanak végre.



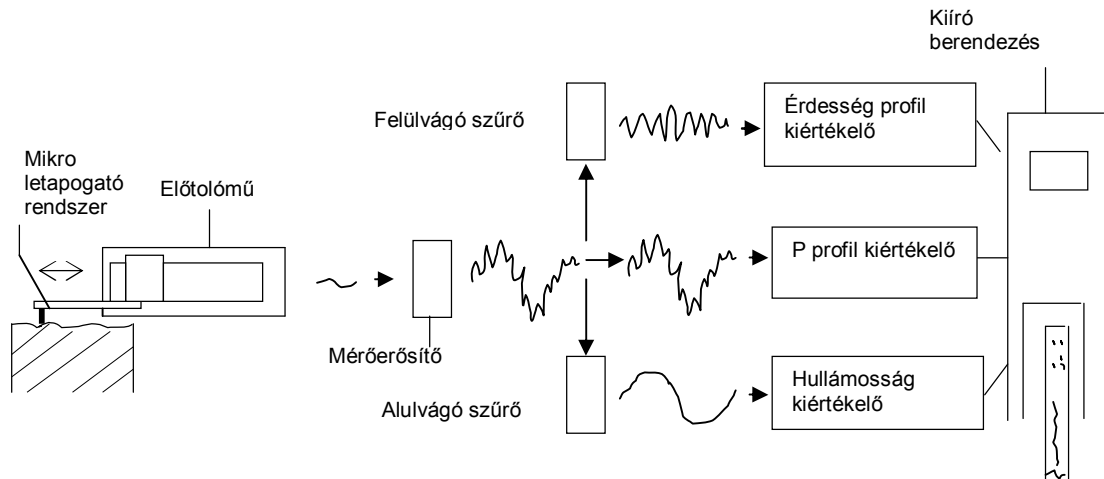
3. ábra. Letapogató csúcs fémfelületen

A tű leszorító ereje napjainkban 0.8-7 mN körüli értékre csökkent, ami a faanyag felületét nem roncsolja. Erdei fenyő próbatesten végzett 40 szerez ismétlésnél sem tapasztaltak felületi roncsolást (Westkämper 1996). Egy esetben mégis hátrányt jelent még ez a minimális leszorító erő is, amikor a tű merőlegesen érkezik felszakadt, de a felülethez még a másik végén kapcsolódó rosthöz, amit egyszerűen eltol. Ugyanez a hatás előnyként jelentkezik amikor a tű a felületre ráhullott porszemekkel találkozik. A perthométerek működési elve a következő:



4. ábra. A mikro letapogató rendszer felépítése

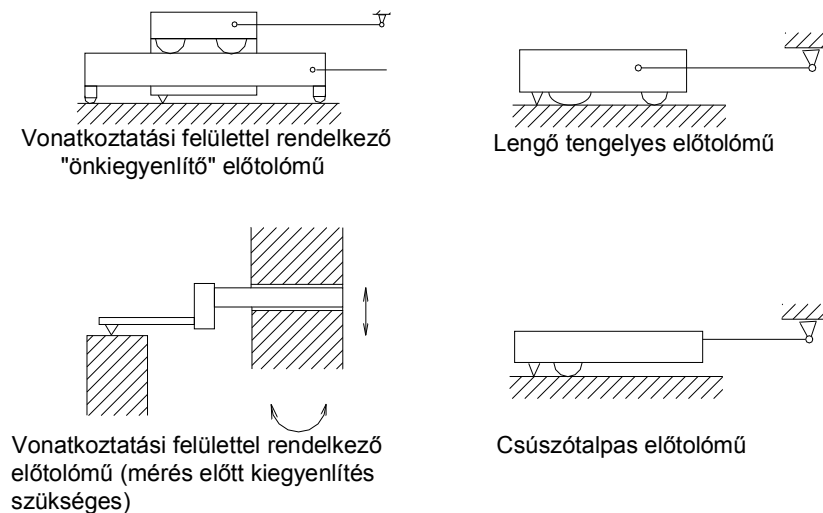
A gyémánt letapogató csúcsot speciális minimális súrlódási ellenállású felfüggesztéssel látják el. Az állandó sebességű vontatás közben a tű függőleges irányú elmozdulását egy elektromechanikus jelátalakító (differenciál-transzformátor) elektromos mérőjellé alakítja (4. ábra).



5. ábra. Mechanikus tús letapogató berendezés működési vázlata

A mérőjel erősítés után kiértékelésre kerül (5. ábra). A kiértékeléshez az érdességet a hullámosságtól frekvenciaszűréssel választják szét. A frekvenciaszűrésről a későbbiekben részletesen lesz szó. Egyes gyártmányok esetében az előtolóműbe nemcsak mechanikus mikro letapogató rendszer fogható be, hanem optikai mikro letapogató rendszer is, például a Mahr cég „Focodyn” elnevezésű berendezése (ami a lézer fókusz eljárás elvén működik).

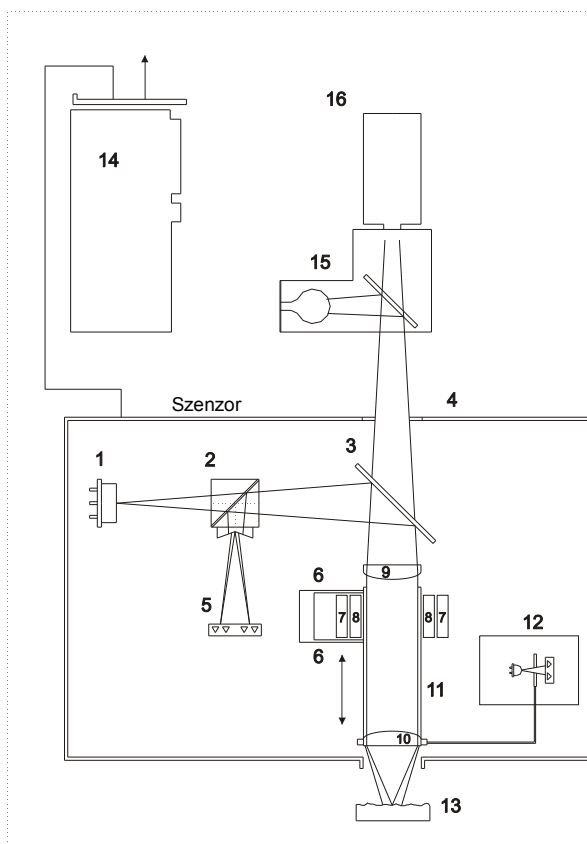
Az előtolómű kialakítását az 6. ábra szemlélteti.



6. ábra. Az előtolóművek leggyakoribb kialakítási módjai

A legelterjedtebb előtolómű típus a 3., a vonatkoztatási felülettel rendelkező, de mérés előtt kiegyenlítést igénylő előtolómű.

A lézeres eljárások szintén kétdimenziós profilt vágnak ki a felületből, de anélkül, hogy mechanikai kapcsolat jönne létre. A lézeres letapogató berendezések két legelterjedtebb változatának mérési elvét láthatjuk a 7. és 8. ábrán:



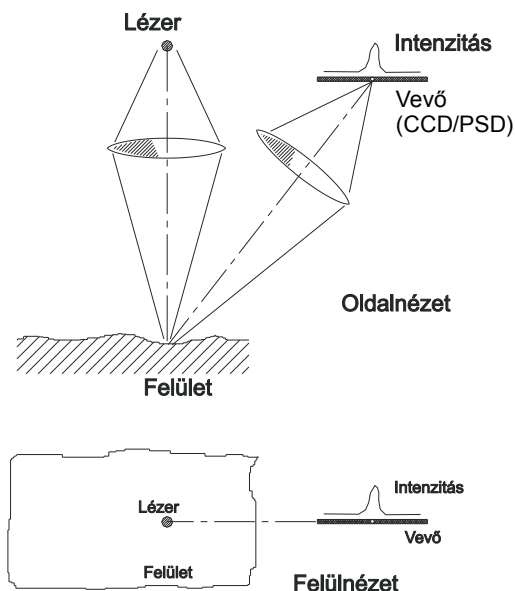
1. Lézer dióda
2. Prizma osztótűkörrrel
3. Osztótűkör
4. Ablak
5. Fotódióda
6. Laprugók
7. Tekercs
8. Mágnes
9. Kollimátor lencse
10. Objektív
11. Tubus
12. Fotócellás mérőrendszer
13. Mért felület
14. PC-kártya
15. Mikroszkóp + megvilágítás
16. OCD kamera

7. ábra. Lézerfókusz eljárás elvi vázlata

A lézerfókusz eljárásnál a lézerdióda által szolgáltatott sugár fókuszálja a berendezés a felületre, ami azt jelenti, hogy az objektív segítségével mindig élesre állítja a képet. A függőleges elmozdulást, amit az objektív a kép élesre állításához megtesz, érzékeli a berendezés, és ezt a

mérőjelet értékeli ki a berendezés.

A triangulációs eljárás során a berendezés a lézersugarat a felületre irányítja, amit egy optikai rendszer a felületre fókuszál. A vevő állapítja meg a felületről visszavert sugár intenzitásának nagyságát, ami a felület struktúrájától függ. Az intenzitás mértéke lesz aztán a mérőjelet, aminek segítségével a felület profil kirajzolható. Előnyként jelentkezik, hogy ezt a mérőrendszert nemcsak merőlegesen a felületre, hanem pár fokkal eltérés mellett is alkalmazni lehet. Ami azonban jelentős hátránnyként jelentkezik az az, hogy ezt a mérőrendszert a mért felület szín illetve árnyalat eltérései befolyásolják. Gyakran a szín árnyalat eltérést mint mélység különbséget regisztrálja a berendezés. (Fa esetében ez különösen hátrányos pl.: korai és kései pászta szín eltérése.)



8. ábra. Triangulációs eljárás elvi vázlata

A három mérési elv egy-egy konkrét műszer megoldásának a jellemzői a 3. táblázatban láthatók.

3. táblázat. Felület letapogató mérőberendezések jellemzői DEVANTIER, EMLER (1996.) [4]

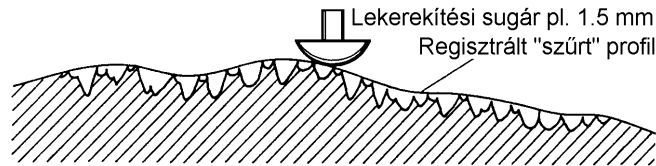
| | Mahr Perthometer S3P, PRK előtolóművel, választható letapogató csúccsal + kiértékelő „P. M” software | OTM20-as triangulációs szenzor mérőpaddal + Kiértékelő „UB-Soft” software | Lézer fókusz szenzor mérőpaddal + Kiértékelő „UB-Soft” software |
|--|--|--|--|
| Letapogató sebesség [mm/s] | 0.1/0.5 | 0.001-10 mm/s-ig a mintavételezési sűrűségtől függően | 0.001-10 |
| Leszorító erő [mN] | 0.8-7 | - | - |
| Függőleges mérési tartomány [µm] | 500 (RFHTB letapogató csúcs) 1500 (FRW 750 letapogató csúcs) | 5000 | 1000 |
| Maximális letapogatósi hossz [mm] | 56 | X irányban 200 Y irányban 100 | X irányban 200 Y irányban 100 |
| Munkadarab és a műszer közötti távolság | érintkezéssel | max. 50 mm | max. 2 mm |
| Letapogató fényfolt átmérője, illetve csúcs lekerekítési sugara [µm] | 5 (RFHTB letapogató csúcs) 10 (FRW 750 letapogató csúcs) | 50 | 1.2 |
| Horizontális felbontó képesség [pont/mm] | 144/460/1440/4608/14400 | korlátlan | korlátlan |
| Mérési hiba (fafelület esetén) | ~ 5 % | ~ 30 % | ~ 0.5 % |
| Ún. idegen fény befolyása [µm] | - | 5 | - |
| Hőmérséklet befolyása | - | 1 µm/K | 1 µm/K |
| Javasolt alkalmazási terület | Érdesség és hullámosság mérése fa és faalapú anyagoknál | Érdesség és hullámosság mérése faalapú anyagoknál, 3D-s mérés is lehetséges. | Érdesség és hullámosság mérése faalapú anyagoknál, 3D-s mérés is lehetséges. |

2.2 Mechanikus és elektromos szűrés

A mechanikus, illetve elektromos szűrés célja, hogy az alakeltéréseket horizontális kiterjedésük alapján szétválassza. Az alakeltérések kialakulási okai eltérőek és ezért szükséges az, hogy külön-külön tanulmányozhatóak legyenek. A szétválasztást továbbá az is szükségessé teszi, hogy a normált felületi profiljellemzők is az egyes profilokból számíthatóak. Általában szűréssel a hullámosság és az érdesség szétválasztása történik. A szétválasztásnál a legnehezebb problémát az jelenti, hogy az egyes alakú eltérések horizontális kiterjedése nem határozott értékű, így az elválasztó határok egymásba mosódnak.

2.2.1 Mechanikus szűrés

Az eljárás lényege, hogy olyan lekerekítési sugarú letapogató csúcsot alkalmaznak amely a rövid periódusú felületi eltéréseket nem követi.

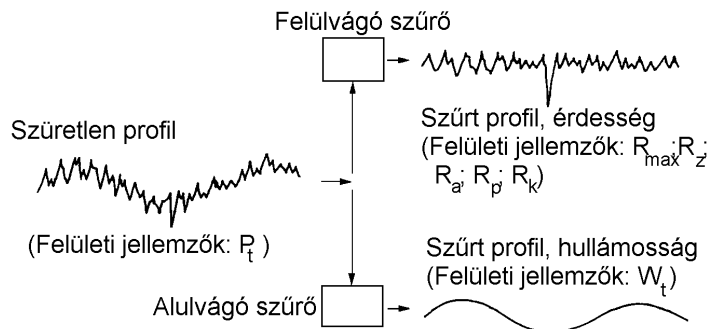


9. ábra. Mechanikus szűrés

A mechanikus szűrést főleg formaeltérések megállapítására használják.

2.2.2 Elektromos szűrés

Az elektromos szűrést a forma eltérés, hullámosság és érdesség szétválasztására alkalmazzák. Az elektromos szűrő tulajdonképpen frekvenciaszűrőt jelent, ami a magasabb, vagy alacsonyabb „frekvenciájú” rövid illetve hosszú „periódusú” profil eltéréseket enged át. Megkülönböztetünk ún. alulvágó és ún. felülvágó szűrőket. Az alulvágó szűrő feladata, hogy a nagy periódusú eltéréseket (hullámosság, forma eltérések egy része) kiszűrje. A felülvágó szűrő feladata, hogy rövid periódusú eltéréseket (érdesség) kiszűrje.



10. ábra. A felül-, illetve alulvágó szűrő hatása a mért profilra

Az elektromos szűrő tehát egy bizonyos hullámhosszú jeleket átengedi, a többi „levágja”, illetve a határhullámhossz közelébe eső hullámhosszú jeleket tompítva engedi át. Határhullámhossznak λ_c (cut off), azt a szinus hullámhosszt nevezzük, amelyet a szűrő 50%-os amplitúdó tompítással engedi át. Ez a definíció az újabban alkalmazott fázis korrekt ún. Gauss szűrőkre igaz. A régebben alkalmazott ún. RC szűrőknél a tompítás 75 %-os a fenti 50 %-al szemben. A határhullámhossz megállapítása a legnehezebb feladat. A szakirodalom segítségével táblázatokat közöl a határhullámhossz megállapítására, illetve a teszt szakasz hosszára. Periodikus profil esetén az előforduló legnagyobb hullámhossz kétszeresét ajánlatos alkalmazni, míg aperiodikus profil esetén az egyenetlenség magasság R_z függvényében lehet λ_c -t választani. Ilyen ajánlásokat tartalmaz alulvágó szűrő esetén a DIN 4774, felülvágó szűrő esetén a DIN 4768.

Erősen aszimmetrikus profil esetén a Gauss szűrők helyett a szakirodalom speciális kétszeres szűrést javasol. Ilyen ajánlás található a DIN 4776-os norma gyűjteményben.



Az eljárást azért fontos kiemelni, mert a nagy edényű fák tangenciális metszetén felvett profilok szintén erősen aszimmetrikusak. (11. ábra)

11. ábra. Aszimmetrikus profil

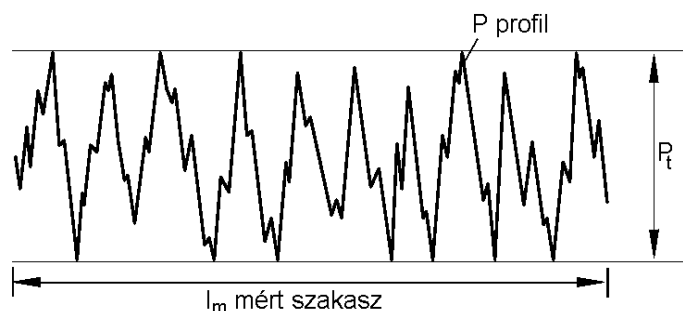
Az elektromos szűrés nemcsak arra alkalmas, hogy az egyes alakeltéréseket szétválassza, hanem amennyiben ismert, hogy egy bizonyos felületi befolyásoló tényező (pl. kiálló vágó él) milyen hullámhossz közelében várható, ún. sávszűréssel az a szűk tartomány is meghatározható. Előnyként jelentkezik, hogy ennek a tartománynak az információ tartalma kimondottan a kérdéses tényezőre vonatkozik. Természetesen ez a módszer csak akkor hoz megbízható eredményt, ha más befolyásoló tényező nem lép fel a vizsgált hullámhossz közelében. Például, ha a rostok okozta érdesség azonos frekvenciájú és méretű a megmunkálás okozta érdességgel, akkor azok szűréssel nem választhatók szét. A sávszűrésre már utalás található a DIN ISO 11562-es normagyűjteményben.

2.3 Felületi jellemzők alapfogalmai

A letapogatott profil az ún. D (direkt) profil tartalmaz mind formaeltérést, mind pedig hullámosságot és érdességet. A D profil egy előfutási, egy mért és egy utószakaszból áll. Az elő- és az utószakasz az elektromos szűrő miatt szükséges. A mért szakasz általában 5 ún. szakasz egységből tevődik össze. Kiértékelésre csak a mért szakasz kerül. A D profilból a kiértékelési célnak megfelelően különböző profilok származtathatóak: Ezek a következők:

P (primer) ún. valóságos profil:

egyrészt kiegyenlíti a mért felület ferde befogásából adódó eltérést és az összehasonlításhoz szükséges referencia szintre hozza a profilt, másrészt a kiértékelésbe nem bevonható nagy frekvenciájú és kis amplitúdójú eltéréseket levágja (12. ábra).

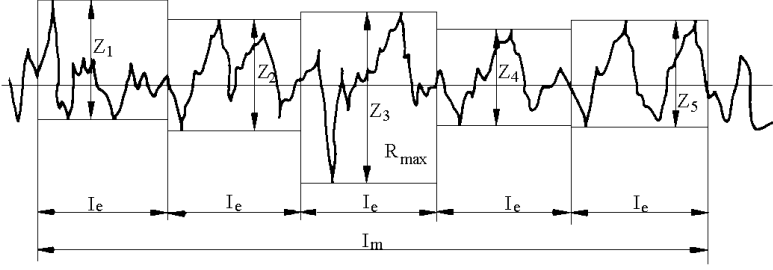
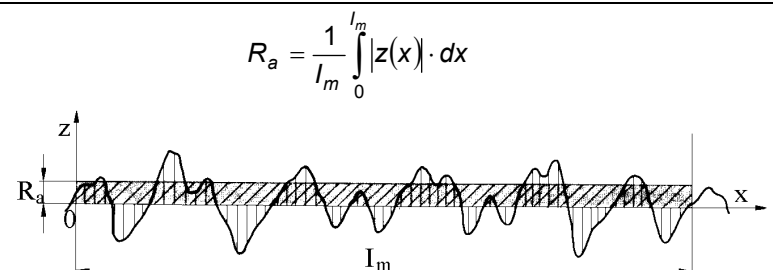
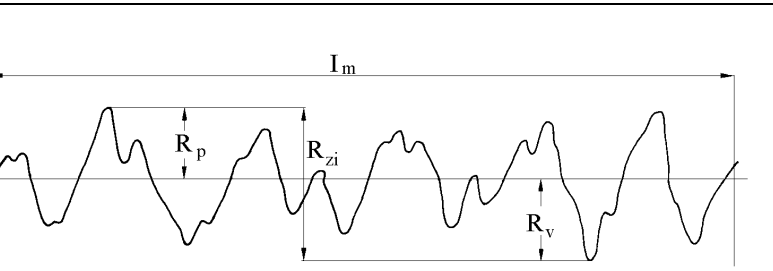
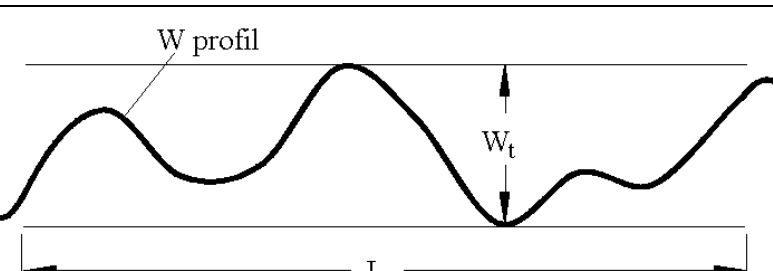



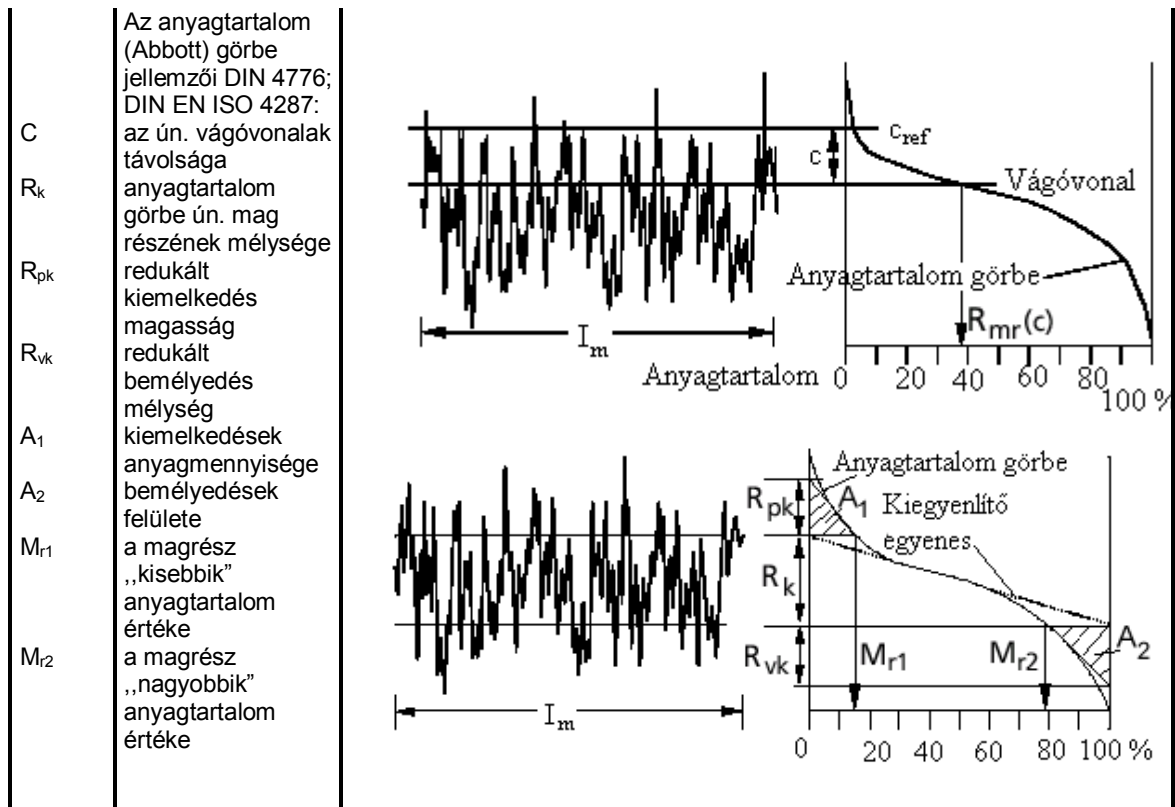
12. ábra. Primer profil

A P profil csak a mért szakaszt tartalmazza, azaz az elő- és utószakaszt nem. A P profil aztán a szűrési fejezetben megismert módon érdességi R profilra, és hullámossági W profilra osztható.

A profilok kiértékelésére különböző szabványosított értékek szolgálnak (4. táblázat).

4. táblázat. Felületi jellemzők (DIN EN ISO 4287)

| Jel | Megnevezés | |
|----------------------------|---|--|
| R_z | egyenetlenség magasság DIN EN ISO 4287 | $R_z = \frac{1}{5} \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$  |
| R_{max} | maximális érdesség mélység DIN EN ISO 4287 |  |
| R_a | átlagos érdesség DIN EN ISO 4287 | $R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} z(x) \cdot dx$  |
| R_{zi} R_p R_v | érdesség mélység DIN EN ISO 4287 érdesség profilhegy magasság DIN EN ISO 4287 érdesség profilvölgy mélység DIN EN ISO 4287 |  |
| W_t | hullám mélység DIN EN ISO 4287 |  |



A különböző típusú profilok esetében néhány jellemző változását az 5. táblázat mutatja:

5. táblázat. Felületi jellemzők változása különböző profilok esetében SANDER (1993.) [50]

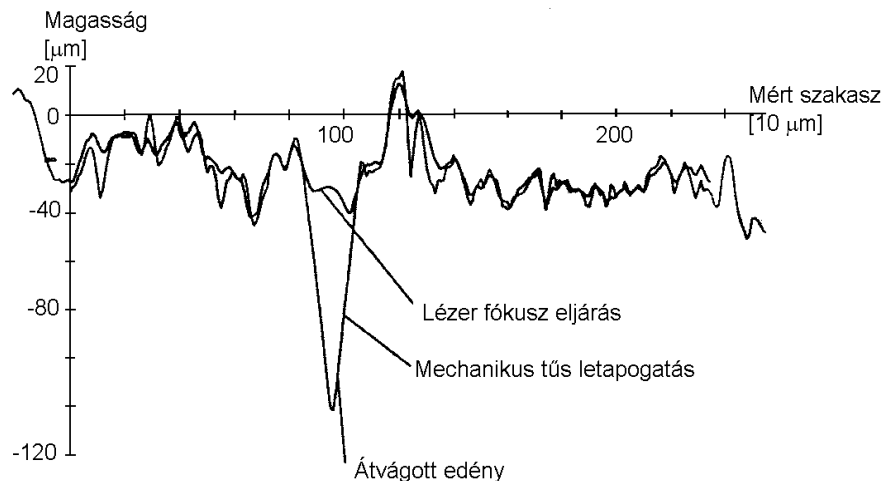
| Felületi profil | Anyagtartalom görbe | Felületi jellemző | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | R _{ma} | R _z | R _a | R _p | R _k | R _{pk} | R _{vk} |
| | | 5 | 5 | 1 | 1 | * | * | * |
| | | 5 | 5 | 1 | 4 | * | * | * |
| | | 5 | 4.5 | 1 | 2.5 | 3 | 1.5 | 0.5 |
| | | 5 | 4.7 | 1 | 1 | 1 | 0.2 | 3.8 |
| | | 5 | 2.8 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.5 | 4.3 |
| | | 5 | 4 | 1 | 3.5 | 2 | 2 | 1 |

2.4 Eddigi mérések és vizsgálatok eredményei (irodalmi áttekintés)

A faanyag felületi minőségét kezdetben tapintással, illetve vizuálisan ítélték meg. A szubjektivitás kizárására vezették be az ún. tusírozó eljárást VDI 2603, majd az ún. gél területi tesztet. Azonban ez a két eljárás még kevés és nehezen számszerűsíthető adatot szolgáltatott. Napjainkban a faanyag felületi érdességének meghatározására használt eljárások a következők:

- mechanikus, tűs letapogatás (pertométer),
- lézeres letapogatás,
- ún. ferde megvilágítás,
- ún. lézer scanning eljárás.

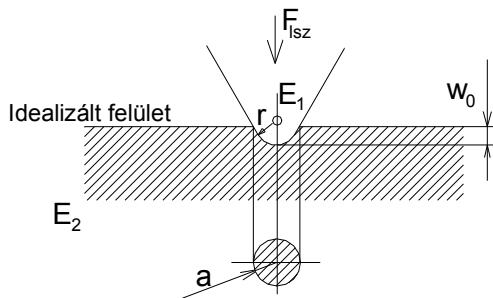
A mechanikus tűs letapogatás és a lézer fókusz eljárás összehasonlítását természetes faanyag esetén WESTKÄMPER és SCHADOFFSKY (1995.) végezte el [59], míg faalapú anyagok esetében DEVANTIER és EMMLER (1997) [4]. Természetes faanyag esetén az volt megállapítható, hogy átvágott edények esetén a mechanikus letapogatás 5 μm vagy annál kisebb lekerekítésű sugarú tű esetén pontosabb eredményt szolgáltatnak, mint az optikai eljárás (13. ábra).



13. ábra. Az érdességi profilok összehasonlítása optikai és mechanikus szenzor esetén WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995.) [59]

Ez az eredmény az átvágott edényekben fellépő fókuszálási problémával magyarázható. Faalapú anyagok esetében nem találtak jelentős eltérést a két eljárás között, de az egyes eljárások jellemzésénél kiemelték, hogy pertométer esetén a 7 mN-os leszorító erejű tű a felület kiemelkedések zónájában jelentős eltéréseket produkált 0.8 mN-os leszorító erejű csúcsához képest. Az 5 illetve 10 μm lekerekítési sugarú gyémántkúpok alkalmazása faalapú anyagok esetén nem mutatott szignifikáns eltérést. Az optikai letapogató esetén a letapogatási sebesség és a mintavételezési sebesség rossz megválasztása a profil jelentős torzulásához vezet.

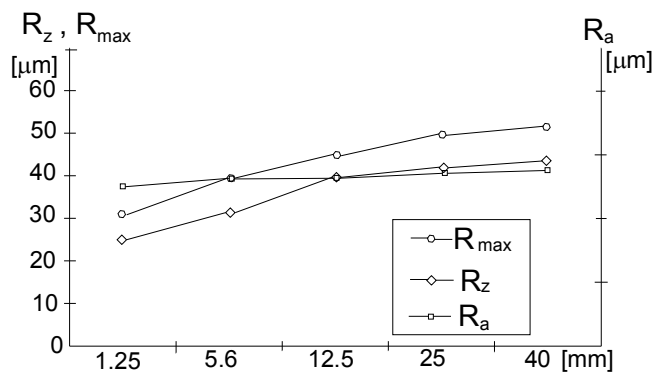
Természetes faanyag esetén a letapogató tű felületbe nyomódásának mértékét WESTKÄMPER és SCHADOFFSKY a Hertz elmélet segítségével határozta meg (14. ábra):



14. ábra. A letapogató tű benyomódási mélységének meghatározása WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995.) [59]

A benyomódás mélysége illetve a benyomódás szélessége erdei fenyő esetében $w_0=0.8 \mu\text{m}$ -nek, illetve $2a=4 \mu\text{m}$ -nek adódott, míg tölgy esetében ugyanezek az értékek $w_0=0.4 \mu\text{m}$, illetve $2a=2.8 \mu\text{m}$ ($r=5 \mu\text{m}$, $F_{isz}=1.3 \text{ mN}$, $E_{e.fenyő}=550 \text{ N/mm}^2$, $E_{tölgy}=1500 \text{ N/mm}^2$). Ezek az értékek rostra merőleges tűhúzási irány esetén érvényesek.

A tűhúzási hossz függvényében az R_z , R_a és R_{max} értékek változását a 15. ábra mutatja [59].



15. ábra. A mérési hossz hatása a mérési eredményekre (R_z , R_a és R_{max}) WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995.) [59]

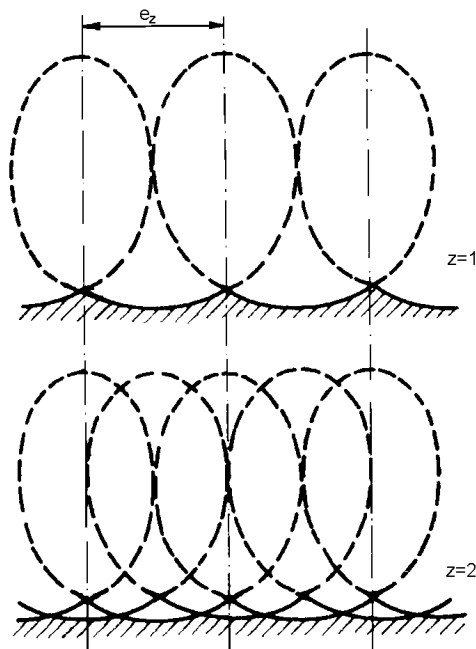
Mivel a szomszédos évgyűrűk között jelentős szilárdsági különbség nincs, az R_z és az R_{max} értékek növekedése a mérési úthosszal, azzal magyarázható, hogy minél hosszabb a mért szakasz annál nagyobb a valószínűsége, hogy kiugró csúcs (pl. felszakadt rost) kerül a mérési szakaszba, amire az R_z , illetve az R_{max} érzékenyen reagál. A mérési eredmények alapján a 12.5 mm-es mérési hossz megbízható eredményeket ad.

A szakirodalom alapján a faanyag felületi minőségét befolyásoló tényezők az alábbi csoportokba sorolhatóak:

1. megmunkálási érdesség:
 - 1.1 kinematikai érdesség;
 - 1.2 szerszám makro- és mikro geometriája által okozott érdesség;
2. anatómiai érdesség.

A kinematikai érdesség a szerszám forgásából és az előtoló mozgás együttes hatásából tevődik össze, amit a megmunkálás rezgésviszonyai befolyásolnak. Gyakran késütés nyomnak is nevezik, és nagyságrendje elérheti a hullámosság mértékét. Így

jelentősége főleg gyalulásnál és fűrészelésnél van. Gyalult felület esetén ez a relatív mozgás rezgésmentes esetben egy ciklois profilt eredményez (16. ábra).



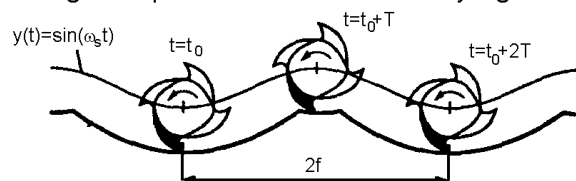
A kés ütés mélysége (t_1):

a Pitagorász-tétel alapján:
 $(e_z / 2)^2 = (D / 2)^2 - (D / 2 - t_1)^2$
 amelyből:
 $e_z = 2 \cdot \sqrt{t_1 \cdot (D - t_1)} \cong 2 \cdot \sqrt{D \cdot t_1}$
 $t_1 = \frac{e_z^2}{4 \cdot D} = \frac{e^2}{4 \cdot D \cdot n^2 \cdot z^2}$

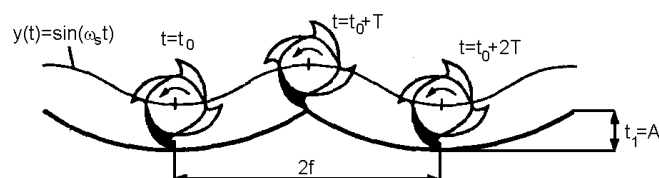
16. ábra. Gyalukés ciklois pályája. SITKEI (1994) [53]

A hullámmélység csökkentése a forgácsolási paraméterek változtatásával, illetve speciálisan kialakított szerszámmal lehetséges TRÖGER és LÁNG (1990) [56]. A kialakuló ciklois ívet nagy mértékben befolyásolja a szerszám élkörfutása és a megmunkálás rezgésviszonyai. A rezgés befolyásoló hatását vizsgálta HEISEL, FISCHER és MAIER (1992) [14] [15], majd HEISEL és KRONDORFER (1996) [16] [17] [18]. Vizsgálataikból megállapítható, hogy mind a szerszám kiegyensúlyozatlanságából adódó rezgés mind a gép forgó alkatrészei által gerjesztett gépváz illetve a munkadarabrezgés nagymértékben befolyásolja a kialakuló felületi profilt (17. ábra). A munkadarab rezgését azonban ők nem mérték, elsősorban a gép rezgésre szorítottak.

A rezgés amplitúdó közelít a hullámmélységhez:



A rezgés amplitúdó elérte a hullámmélységet:



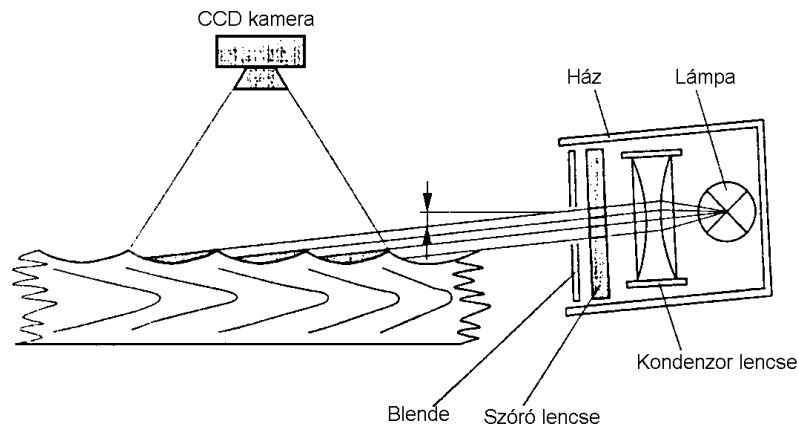
17. ábra. „Eltűnő” megmunkálási hullám a zavaró rezgés hatására HEISEL, KRONDORFER (1996) [15]

A kinematikai érdesség mérésére két módszert javasolnak. Egyrészt mechanikus tús letapogatást megváltoztatott paraméterekkel az anatómiai érdesség „kiszűrése” érdekében. Széles $0.8 \text{ mm} < b < 1.6 \text{ mm}$ kis lekerekítésű sugarú $r=2.5 \text{ }\mu\text{m}$ letapogató csúcs megnövelt leszorító erővel $70 \text{ mN} < F_{\text{isz}} < 200 \text{ mN}$. A hullámosság profilját javasolják kiértékelésre. Másrészt egy a folyamatot szimuláló szoftvert készítettek, mely a zavaró frekvenciák ismeretében kirajzolja a keletkező profilt. A szoftver lehetőséget nyújt speciális felületi jellemzők alkalmazására, ilyen például a hullám egyenetlenség (δ):

$$\delta = \frac{2 \cdot (S_{i+1} - S_i)}{S_{i+1} + S_i}$$

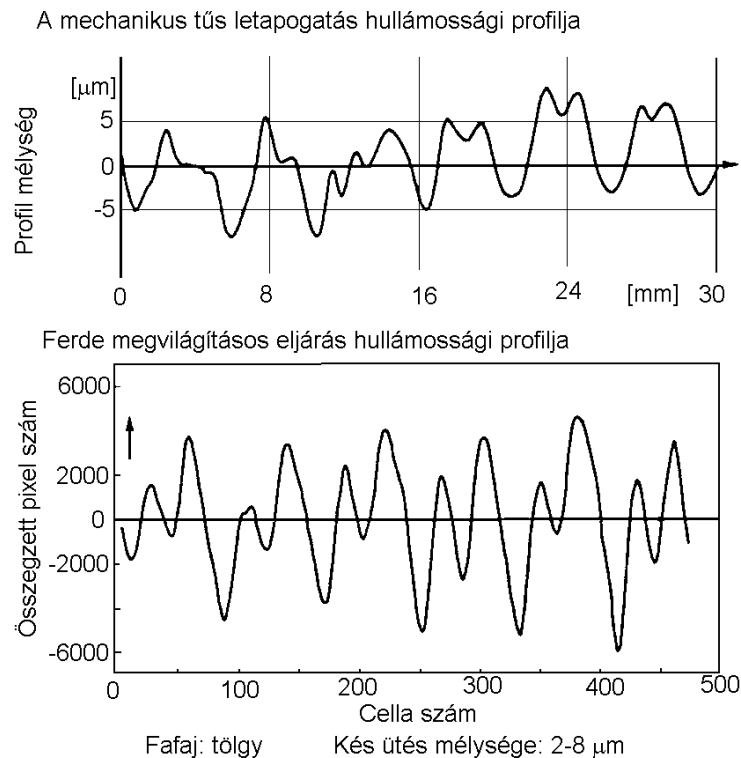
Ahol S_i a megmunkálási hullám szélessége.

A kinematikai érdesség mérésére egy másik módszert dolgozott ki HOFFMEISTER és GRÜBLER (1999) [27]. Az eljárás a felületi profil előtolás közbeni mérését teszi lehetővé. A felületet ferdén, alacsony beesési szöggel világítják meg (18. ábra). A fény egyenletes eloszlását a szóró lencse garantálja.



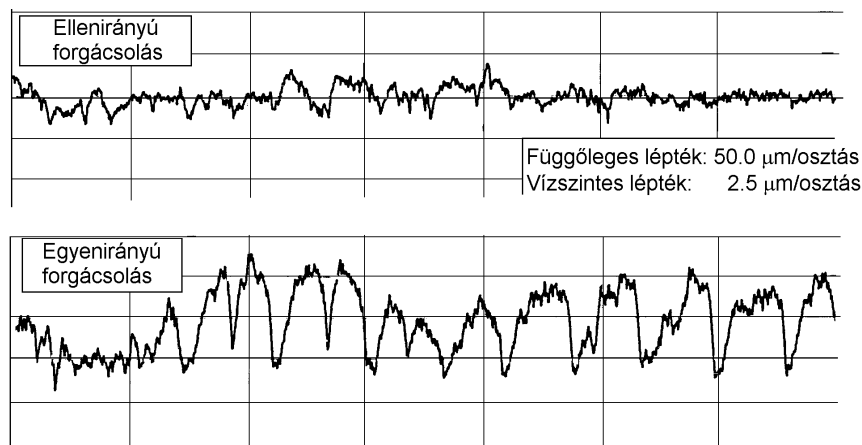
**18. ábra. Ferde megvilágításos mérőberendezés elrendezési vázlata
HOFFMEISTER, GRÜBLER (1999) [27]**

A fény az alacsony beesési szög miatt a felület hullámosságának megfelelően árnyék csíkokat hoz létre. A képet egy ún. CCD (Charge Coupled Device) kamera veszi fel, majd egy képelemző rendszerbe továbbítja. Itt történik a kép feldolgozása, illetve az anatómiai érdesség leválasztása. A képet előtolási irányra merőleges 1 kép pixel szélességű csíkokra osztja. Az egy sorban lévő pixelek ún. szűrkeségi fokát egy értékben összegzi a rendszer. Így az egymást követő sorok egy adatsorrá, egy profillá egyesülnek. Mivel az anatómiai jellemzők (évgyűrű szélesség, kései pászta stb.) az előtolással párhuzamosan helyezkednek el, így minden pixel vonalban nagyjából azonos módon képviseltetik magukat. A jel korigálása statisztikai adatokon alapul, amit nagy számú mérés segítségével készítettek. A módszer érzékeny a kamera porosodására. A felvett hullám profil megfelelő beállítás esetén pontosabb eredményt szolgáltat, mint a mechanikus tús letapogatás (19. ábra).



19. ábra. A mechanikus tűs letapogatás és a ferde megvilágításos CCD képfeldolgozásos rendszer hullám profiljának összehasonlítása HOFFMEISTER, GRÜBLER (1999) [27]

KISSELBACH és SCHADOFFSKY (1996) [33] vizsgálta mart fenyő felületek kinematikai érdekességét egyen- és ellenirányú forgácsoláskor. Éles szerszám esetén különbség nem figyelhető meg. Kopott szerszám esetén egyen irányú forgácsoláskor a felület durvább képet mutat (20. ábra), amit a szerzők a korai pászta nagyobb roncsolódásával magyaráznak. A méréshez mechanikus tűs letapogató berendezést alkalmaztak.



20. ábra. Erdei fenyő mart felületének P (valóságos) profilja ellen- illetve egyen irányú forgácsoláskor, kopott szerszám esetén KISSELBACH SCHADOFFSKY (1996) [33]

Keretfűrészgépen fűrészelt fenyő fűrészárú kinematikai érdekességét vizsgálta HARGITAI és ZOMBORI (1989) [12]. A vizsgálathoz mechanikus tűs letapogató berendezést alkalmaztak $F_{isz}=29$ mN leszorító erővel és $r=25$ μm lekerekítési sugárral.

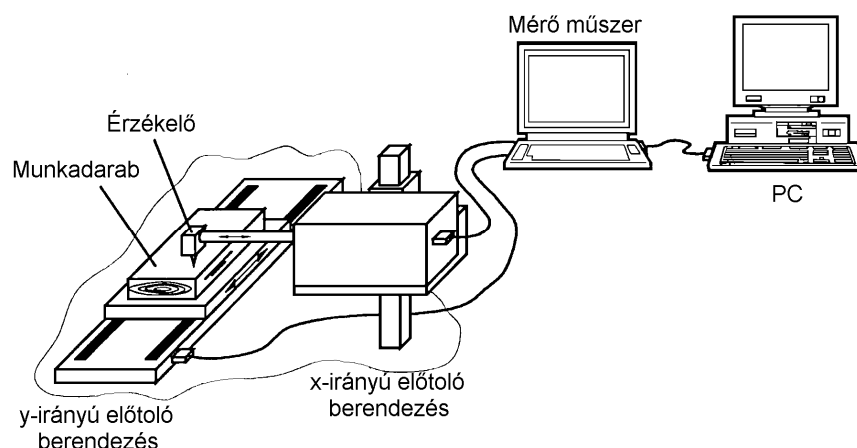
A mérési hossz 50 mm volt. A profilok kiértékelésére az R_z , R_{max} , R_a és a W_t jellemzőket alkalmazták.

LUNDBERG és PORANKIEWICZ (1995) [38] fűrészelt felületek vizsgálatára az ún. lézer scanning eljárást javasolják. Az eljárás lényege, hogy a vizsgálandó felületre egy keskeny lézercsíkot vetítenek, és egy a lap felületére ferdén elhelyezett CCD kamerával érzékelik a felületről visszavert fényt, miközben a berendezés végig halad a lap felületén. Az így kapott képet képfeldolgozó rendszerbe juttatják és ott szűrkeségi fok képpé alakítják. Az egyes szűrkeségi képpontokhoz aztán magassági értéket rendelnek, és a felületet az átlagos érdesség R_a értékkel jellemzik.

Gyalult fa felület felületi minőségét vizsgálta a gép- illetve a munkadarab rezgés függvényében SITKEI (1990) [54]. A rezgés amplitúdó növekedésével az R_z érték növekedése volt megfigyelhető.

A szerszám élgeometriája (makrogeometria), illetve kopottsági állapota (mikrogeometria) által okozott érdesség általában kisebb nagyságrendű. Mivel a szerszámok élgeometriáját az egyes fafajokhoz és megmunkálásokhoz optimalizálnak tekintik, az ide tartozó vizsgálatok a kopottság és a felületi érdesség kapcsolatát tárgyalják. A szerszám kopottsági állapotának meghatározásához mérik az él lekerekítési sugarát vagy az ún. él visszahúzódságot MANG (1958) [39] és kemény fémlapkák esetén a lapkák felületi érdességét (R_z) LEUCO International [36]. Az élet élesnek tekintjük, amennyiben lekerekítési sugara $r=8-10 \mu\text{m}$, munka élesnek ha $r=20-40 \mu\text{m}$ és kopottnak ha $r \geq 60 \mu\text{m}$ Sitkei (1994) [53]. A kopott szerszám a felületen lévő sejteket deformálja illetve egy bizonyos mélységig összeroppantja R. FISCHER (1993) [9]. Erdei fenyő próbatetek esetén KISSELBACH és SCHADOFFSKY (1996) [33] egy $23 \mu\text{m}$ -es él-visszahúzódsú kopottsággal rendelkező szerszámmal ($\gamma=18^\circ$; $\beta=50^\circ$; $\alpha=22^\circ$) a forgácsolási paraméterektől függően 1-6 sejt sor összeroppantását regisztrálták.

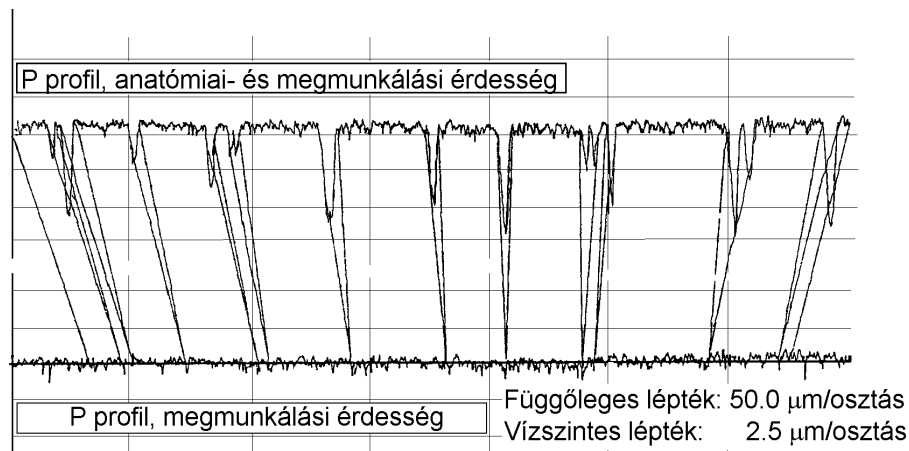
A megmunkálási érdesség meghatározására SCHADOFFSKY (1996) [51] dolgozott ki egy eljárást. A fa felületéről rost irányra merőlegesen egymással párhuzamos és szomszédos profilt vesznek fel mechanikus tús letapogató berendezéssel (21. ábra). PC program segítségével a profilokból felületet képeznek, amit képelemző rendszerbe továbbítanak.



21. ábra. Felület 3 D-s mérésének elrendezési vázlata SCHADOFFSKY (1996) [51]

A szűrkeségi fok segítségével, statisztikai adatok alapján jelölik az anatómiai jellemzőket, általában az átvágott edényeket. Ez azért fontos, mert például csiszolt

felületnél egy mély karcolás profilja megegyezhet az átvágott edényekével, csak hosszában és gyakoriságában tér el azoktól. Ezek után az egyes profilokból a megfelelő részek eltávolíthatók, és a profilok kiértékelhetők (22. ábra).



22. ábra. A megmunkálási és az anatómiai érdesség szétválasztása SCHADOFFSKY (1996) [51]

Kiértékelésre általában az érdesség mélység R_z értéket alkalmazzák.

Faalapú anyagokra DEVANTIER és EMLER (1996) [4] dolgozott ki egy módszert. A módszer lényege, hogy nem a hagyományos alul- illetve felülvágó szűrőt alkalmazzák, hanem ún. sávszűrést. Nagyszámú mérés alapján meghatározták az egyes laptípusokra az egyes jellemző felületi hibákat és azok gyakoriságát. Ezek alapján pedig attól függően melyikre kíváncsiak, azt a frekvencia tartományt „szűrik” ki a rezgésmérésben használatos ún. ablakos technikához hasonlóan. A méréshez 3 profil felvételét javasolják 56 mm vagy esetleg 17.5 mm mérési hosszal a lap általuk kijelölt helyein. Mérési elvnek a mechanikus tűs letapogatást, vagy a lézer fókusz eljárást ajánlják. Az így kapott érdesség profilok kiértékelésére az R_z , R_{max} és az Abbott-görbe jellemzőit javasolják.

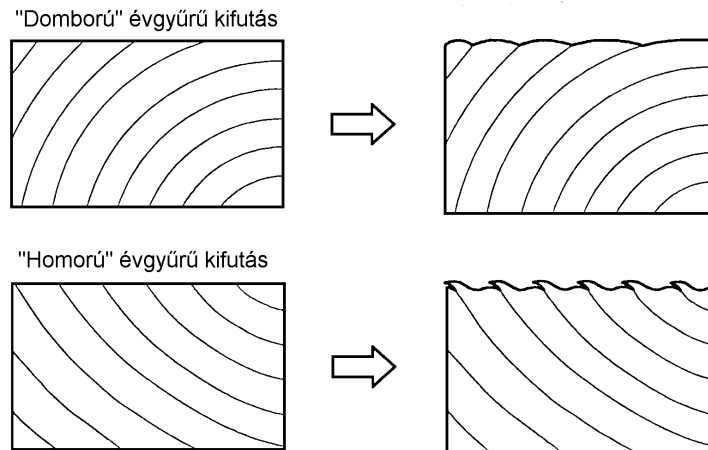
Az anatómiai érdesség vizsgálatára kevés adatot lehet találni a szakirodalomban. SCHADOFFSKY (1996) [51] tangenciális metszeten mért anatómiai érdességi adatokat ad meg 4 fajra (5. táblázat), amely természetesen a megmunkálás okozta érdességet is magában foglalja. Anatómiai adatokat nem közöl.

6. táblázat. Anatómiai érdesség értékek SCHADOFFSKY (1996) [51]

| | R_a [μm] | R_z [μm] | R_{max} [μm] | R_k [μm] | R_{pk} [μm] | R_{vk} [μm] |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Bükk | 5.29 | 37.32 | 29.70 | 5.40 | 1.30 | 19.00 |
| Tölgy | 15.93 | 125.87 | 170.73 | 10.03 | 1.47 | 73.87 |
| Lucfenyő | 4.74 | 33.02 | 38.58 | 12.28 | 3.19 | 10.74 |
| Erdei fenyő | 5.50 | 37.68 | 45.41 | 13.12 | 2.43 | 12.44 |

KISSELBACH és SCHADOFFSKY (1996) [33] vizsgálták a faanyag nedvesség tartalmának hatását, illetve az évgűrű kifutás hatását tangencionális metszeten. Éles kés alkalmazása esetén nem kaptak különbséget (a forgácsolási paramétereiktől függetlenül), míg kopott szerszám esetén (él visszahúzódás 46 μm) már jelentős különbség volt megfigyelhető. A nedvességtartalom növelésével növekedett a felület

hullámossága. Az évgyűrű kifutás pedig két különböző jellegű profilt eredményezett (23. ábra).



**23. ábra. Az évgyűrű kifutás hatása a felületi profilra kopott szerszám esetén
KISSELBACH, SCHADOFFSKY (1996) [33]**

A fentiek alapján az alábbi általános következtetések tehetők:

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 paramétereit hogyan függnek össze az általánosan használt átlagos érdesség R_a és egyenetlenség magasság 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.

3 ELMÉLETI MEGFONTOLÁSOK, CÉLKITŰZÉS

A faanyag felületi érdességét alapvetően két befolyásoló csoportra oszthatjuk, amelyek igen sok tényezőt tartalmaznak:

A. A faanyag tulajdonságai:

- nedvességtartalom;
- hőmérséklet;
- anatómiai jellemzők:
 - évgyűrű szélesség;
 - korai-, és kései pászta aránya;
 - sűrűség;
 - az edények, lumenek és rostok mérete, és azok eloszlása;
 - egységnyi бүтү felületre eső edény, lumen és rost szám.

B. A megmunkálási folyamat befolyásoló hatása:

- vágási sebesség;
- rezgésviszonyok;
- kinematikai viszonyok;
- forgácsolási irány;
- a faanyag száliránya a megmunkálás irányával bezárt szöge;
- a szerszám makrogeometriai jellemzői;
- a szerszámél kopottsága;
- az átvágott edények véletlenszerű megjelenése a felületen.

A faanyag mechanikai megmunkálása során, a befolyásoló feltételektől függően más-más finomságú felület alakul ki. Ennek megfelelően a megmunkálási és az anatómiai érdesség aránya, illetve az egyes befolyásoló tényező hatása is változni fog. A forgácsolási eljárásokat áttekintve mondhatjuk, hogy minél precízebb egy eljárás, annál kisebb lesz a megmunkálási érdesség részaránya. Az alapanyagot figyelembe véve, azonos megmunkálási feltételek mellett nő az anatómiai érdesség befolyása, ha például fenyő alapanyagról nagy edényű lombos alapanyagra térnek át. Néhány jellemző megmunkálást kiragadva a részarányok változásának trendje a következő. Általában mondható, hogy fűrészeléssel durvább felület készíthető, mint marással. Ezért fűrészelésnél általában elegendő a megmunkálási érdesség vizsgálata, hiszen ennek nagyságrendje nagyobb, mint az anatómiai érdességé. Gyalulásnál és marásnál a forgácsolási paramétereiktől függően egyre csökken a megmunkálási érdesség nagyságrendje. Simító megmunkálás esetén ma a megmunkálási érdesség kisebb, mint az anatómiai érdesség. Ezért itt már hiba lenne az anatómiai érdesség figyelmen kívül hagyása, illetve „kiszűrése”.

Az eddigi vizsgálatok főleg a megfelelő mérő berendezés kiválasztását célozták. Nem ismert, hogy a fémiparban normált felületi jellemzők közül melyek, és milyen esetleges változtatásokkal alkalmazhatóak fafelület esetében (például az Abbott-görbe jellemzői). Szükségese-e új jellemzők definiálása? Nem ismertek továbbá az összefüggések a felületet befolyásoló tényezők és a felületi jellemzők között.

A dolgozat célja, hogy választ adjon a fenti kérdésekre, és feltárja az összefüggéseket, mind az alapvető megmunkálási paraméterek, mind az anatómiai jellemzők között. Különösen az anatómiai jellemzők meghatározását tartottam fontosnak, mivel ezzel a kérdéssel nagyon kevesen foglalkoztak. Céлом volt egy az anatómiai struktúrát

jellemző szám megállapítása, amellyel a különböző fajok egy rendszerbe sorolhatóak, és egységesen jellemezhetők a várható érdesség szempontjából. Vagyis nem egy-egy faj érdességi variabilitását vizsgálom, hanem a különböző fajok egy rendszerbe való besorolását kísérelem meg megoldani.

Ez a célkitűzés a vizsgálatok szokásos módszereinek alkalmazását is kissé módosítja. Általában szokás nagy darabszámú mintával dolgozni a fajon belüli variabilitás meghatározása, illetve átlagolás céljából. Jelen esetben a különböző fajok egy rendszerbe való foglalása a cél, ezért kevesebb, de pontosan definiált mintákkal dolgozom. Ugyanakkor egy új szempont is felmerül a belső struktúra hatásával kapcsolatban. A megmunkálás során teljesen véletlen, hogy egy üreget hogyan vágunk át, vagy az átvágott üreg hogyan helyezkedik el a felszínhez viszonyítva. Ez a tény szintén egyfajta variabilitást jelent a felszín értékelése szempontjából. Ennek a hatását úgy vizsgáltam, hogy a mintadarab felületén 0.3 mm-es mélységi eltolással képeztem ki felületeket, és ezeken végeztem méréseket. Ez az eljárás hatásában hasonló ahhoz, mintha a mintadarabok számát növeltük volna meg.

4 A KISÉRLETEK PROGRAMJA ÉS METODIKÁJA

A korábban leírt célkitűzéseknek megfelelően kutatómunkámban első helyen annak meghatározása áll, hogy a faanyag belső struktúrája milyen hatással van az elérhető érdességre.

Ezenkívül megvizsgálom a legfontosabb egyéb befolyásoló tényezők hatását, mint a forgácsolási sebesség, a szerszámél kopottsága és a faanyag szálirányának hatása. Feladatomban tekintetem továbbá az Abbott-görbében rejlő információk bevonását a felületi minőség jobb és teljesebb jellemzése céljából.

A fentiek alapján a vizsgálatok sorrendje a következő:

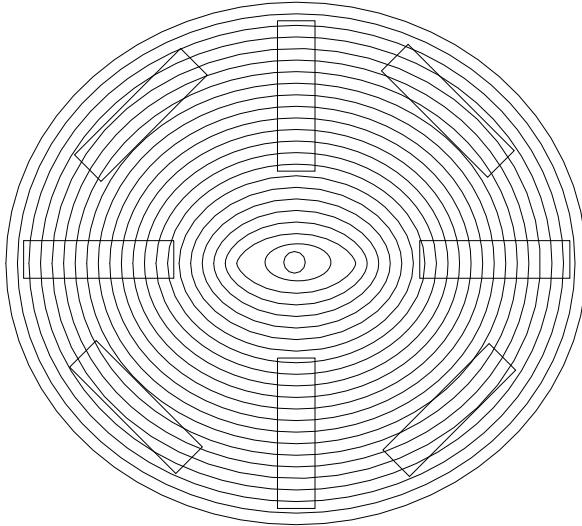
1. a forgácsolási sebesség hatása;
2. a faanyag szálirányának hatása;
3. a fajok belső pórusméret eloszlása, a struktúrát jellemző szám bevezetése;
4. a struktúra és a felületi minőség paramétereinek összefüggése;
5. az Abbott-görbe paramétereinek (R_{pk} , R_k , R_{vk}) vizsgálata, összefüggései;
6. az átlagos érdesség R_a és az egyenetlenség magasság R_z paraméterek összefüggése az Abbott-görbe jellemzőivel (R_{pk} , R_k , R_{vk});
7. Az ún. felületi anyaghiány összefüggése;
8. a szerszámél mikro-geometriájának hatása.

A felhasznált mérési módszerek kiválasztásánál az irodalmi áttekintés tapasztalataira támaszkodtam. Így az anatómiai jellemzők és a szerszámél kopottságának méréséhez fénymikroszkóppal kombinált képelemző rendszert alkalmazok. Míg a felületi minőség jellemzőit mechanikus tús letapogató rendszerrel határozom meg.

4.1 Próbatetek kiválasztása, jellemzése, előkészítése

A próbatetek kialakításakor és darabszámának meghatározásakor a MSZ 319-76 „Faanyagok mintavétele és a fizikai-mechanikai tulajdonságok vizsgálatának általános előírásai” című szabvány előírásait szükség szerint figyelembe vettem. A mérések elvégzéséhez a természetes faanyag sűrűség skáláját lefedő fajokot választottam. Ezekből a későbbiekben mindig a kísérleti célnak megfelelő mintákat használtam fel a vizsgálati célnak megfelelő próbatest kialakítással. A fajok a következők: 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 4-4 darab próbatest lett kivágva ugyanabból a darabból egyforma orientációval, melyek mérete 300 mm hosszú, 60 mm széles és 20 mm vastag (24. ábra).



24. ábra. Próbatestek kivágásának módja

A 45°-os szögben ábrázolt próbatestek csak erdeifenyő és bükk fafaj esetén lettek kivágva, a forgácsolási sebesség hatásának vizsgálatához, illetve a szerszámél kopottság hatásának vizsgálatához még a vörösfenyő és a tölgy fafajból is. A faanyag száliránya megegyezett a próbatest hosszirányával. A minták fahibákat és juvenilis részt nem tartalmaztak. A próbatestek 12 %-os nedvességtartalomra lettek kondicionálva az MSZ 6786-3 1988, illetve a DIN 50014 előírásainak megfelelően. A hazai fafajok próbatesteinek középső 2 egymásmelletti 10 mm-es sávjából 20 mm-es téglalapokat vágtam ki, amelyekből főzés után a mikroszkopikus bütű metszeteket készítettem, minden mintából 10 darabot. Végül a próbatestek a pontos sűrűség megállapítás céljából kisebb darabokra lettek felvágva (DIN 52182), a mért abszolút száraz sűrűség értékek a 7. táblázatban találhatóak.

Az üzemi méréseknél használt próbatesteket 14 % nedvességtartalomra szárított erdeifenyő alapanyagból szélességi toldással alakították ki. A felhasználás után „látható” helyeken hiba kijelítést alkalmaztak.

4.2 Felhasznált megmunkáló és mérőeszközök

A megmunkálás módja lehetővé tette a megmunkálási paraméterek széles skálájú és gyors változtatását, a lehető legfinomabb felületi minőség előállítását, amelyben például a megmunkálási érdesség a lehető legkisebb mértékben szerepel. Ezért megmunkáló berendezésnek CNC felsőmarógépet választottam, amelynél a forgácsolási paraméterek könnyen változtathatók, és nagy szerszám kerületi sebesség érhető el. A pontos méretállítást a gép szerkezete (golyós menetes orsók és az útdó) teszik lehetővé. A rezgések zavaró hatása nagymértékben csökken, hogy a gép pneumatikus leszorítású, hisz ilyenkor a zavaró rezgésekből a nagyobb nagyságrendet képviselő munkadarabrezgést kiküszöböljük. A szerszám dinamikus kiegyensúlyozásával a szerszámrezgés zavaró hatása pedig elhanyagolhatóvá vált. A gép masszív öntvény felépítésű és új állapotú, ezáltal a géprezgés nagyságrendje szintén elhanyagolható.

A tisztán anatómiai érdekesség mérésére a felületeket mikrotommal metszettem el. Itt hátrányként jelentkezett, hogy főzés nélkül csak egyes fafajok voltak ily módon vághatóak, továbbá a kialakítható méret korlát (12X12 mm).

Az üzemi méréseket hidraulikus szerszámfelfogású gyalu-maró gépen végeztem, amely olyan technológiai sorba volt építve, amelyből a csiszolási műveletet kihagyták. A megmunkált elemek pedig vizes alapú felületkezelésre kerültek. Így rendkívül nagy jelentőséggel bírt a kialakuló felület érdekessége, hiszen a nagy nedvességtartalom könnyen felhúzhatja a félig felszakadt rostokat.

4.2.1 Mérendő felületet kialakító berendezések

A munkadarabok vizsgálandó felületének forgácsolását az egyetem Faipari Gépészeti Intézetének tulajdonában lévő Reichenbacher CNC felsőmarógépen végeztem új, éles szerszámokkal. Az új szerszám élének sugara 10-12 μm , az élszöge 55° volt.

A Reichenbacher RANC 207 AMW típusú CNC felsőmarógép technikai adatai a következők:



Előtolási méretek:

X=1400 mm

Y=750 mm

Z=250 mm

Gépasztal mérete:

1550 X 900 mm

Maximális előtolási sebesség:

20 m/perc (X/Y)

Pozicionálási sebesség:

max. 28 m/perc

Maximális fordulatszám:

18 000 1/perc

A megmunkáló tengely szabadságfoka: 2.5 D

25. ábra. Reichenbacher RANC AMW típusú CNC felsőmarógép

Az üzemi méréseket tömbösített, hiba kiejtett erdei fenyőből készült ablak elemeken végeztem. Az elemeket Weinig gyártmányú egyedi gyártású 9 megmunkáló fejes, ún. hidraulikus szerszámfelfogású gyalu-maró géppel készítették. A gyár tulajdonosa a gyár nevének közléséhez nem járult hozzá.

A mikroszkopikus metszeteket az egyetem Faanyag Tudományi Intézetében, illetve Növénytani Intézetében készítettem Leitz WETZLAR típusú szános mikrotommal.

4.2.2 Felhasznált mérőeszközök

A felületi érdekesség mérésére Mahr S3P típusú pertometert alkalmaztam. A berendezés az egyetem Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézetének tulajdona, amelyet a Faipari Gépészeti Intézettel közös projekt keretében szereztek be.



26. ábra. Mahr S3 P típusú tűs letapogató berendezés

A berendezés ún. Gauss és ún. RC szűrésre is alkalmas, és az összes fémiparban normált felületi jellemző meghatározására képes. Az előtolómű (PGK típusú) vonatkoztatási felülettel rendelkezik, de mérés előtt kiegyenlítés szükséges. A beépített kiíró berendezés mellett a kiértékelő rész személyi számítógéphez is csatlakoztatható. A letapogató gyémánt csúcs lekerekítési sugara $5\ \mu\text{m}$ (MFW-250 RFHTB), és az alkalmazható legkisebb tű leszorító erő $0.9\ \text{mN}$. Maximális előtolási méretek: vízszintesen $17.5\ \text{mm}$, függőlegesen $250\ \mu\text{m}$. A műszert a mérés előtt gyári etalonnal hitelesíteni kell.

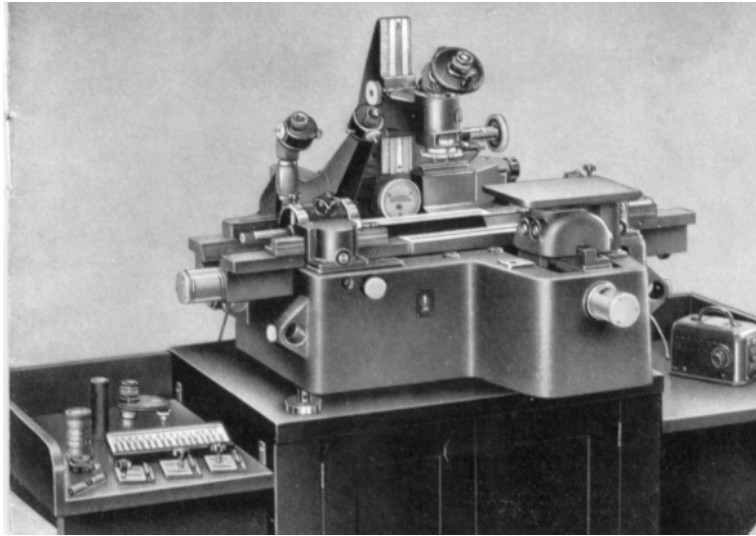
A faanyag anatómiai jellemzőit Leica fénymikroszkóp segítségével Quantiment 500-as képfeldolgozó szoftverrel mértem, az adatok számítással történő ellenőrzésével az OTKA Regionális Műszerközpont Mikromorfológiai laborjában. Az anatómiai adatok kiértékelését személyi számítógépen végeztem. A szerszám mikro geometriai jellemzőit a kopás vizsgálat során szintén ezzel a berendezéssel állapítottam meg.



27. ábra. LEITZ LABORLUX S Fénymikroszkóp Quantiment 500-as képfeldolgozó rendszerrel

A mikroszkóp alsó- és felső megvilágításra is alkalmas, maximális nagyítási lehetőség 1000 szeres. A képelemző-rendszer kalibrálás után egyedi mérésekre és szín szerint detektált képek feldolgozására is alkalmas.

A szerszám makro geometriai jellemzőit (élkör átmérő, homlokszög, élszög, hátszög) a Faipari Gépészeti Intézet CARL ZEISS univerzális szerszámmikroszkópján mértem.



28. ábra. CARL ZEISS univerzális szerszám mikroszkóp

A mikroszkóp ezred milliméteres pontosságú leolvasást tesz lehetővé, de maximális nagyítása csak 50 szerez, így a keményfémlapok kopottság mérésére nem alkalmas. Speciális felfogó szerkezeteinek segítségével a maró szerszámok makro geometriai jellemzői viszont gyorsan és pontosan megállapíthatóak.

4.2.3 Kiértékelő eszközök

A mért adatok kiértékelését személyi számítógép segítségével, a görbék illesztését HP 82484 AD 'Kurven Anpassung Packet' program csomag segítségével végeztem. A korrelációs együtthatókat (I) szintén a fenti program csomag segítségével, LUKÁCS Ottó Matematikai statisztika című könyve alapján [63] határoztam meg.

4.3 Kísérletek leírása

4.3.1 A forgácsolási sebesség hatásának vizsgálata

A forgácsolási sebesség hatását két fafaj, erdei fenyő és bükk esetében vizsgáltam. Ebből a két fafajból olyan orientációval is lettek próbatestek kivágva, melyeken az oldalfelület közel radiális metszetű (ld. 24. ábra). Erre azért volt szükség, mert ezekhez a vizsgálatokhoz palást marót alkalmaztam, amely a CNC felsőmarógép pneumatikus próbatest lefogása miatt csak az oldalfelület megmunkálását tette lehetővé. A megmunkálási próbáknál új keményfém lapkákat alkalmaztam.

A felhasznált szerszám paraméterei a következők voltak:

Szerszámtest:

Gyártó: WIGO AG.

Típus: WL 402-1/039243

HM Ø60 rechts D22.

Határ fordulatszám: $n_{max}=18\ 000$ 1/perc.

Lapka rögzítés: szorítóék.

Keményfém lapka:

Gyártó: LEITZ.
Típus: TM405-0.
Méret: 50x12x1.5 [mm].

A szerszám makro-geometriai jellemzői az összeszerelés után a következők voltak:

Hátszög: $\alpha=15^\circ$;
Élszög: $\beta=55^\circ$;
Homlokszög: $\gamma=20^\circ$;
Élkörátmérő: 60.00 mm;
Élek száma: 2 db.

A megmunkálás 2 mm-es fogásmélységgel történt, az egy fogra eső előtolási sebesség állandón tartása mellett ($e_z=0.5$ mm/él), a következő kerületi sebesség (v_k) lépcsőkkel: 10 m/s; 20m/s; 30 m/s; 40 m/s; 50 m/s. Minden egyes megmunkálási lépcső után a próbatestek megmunkált felületén felületi érdesség mérést végeztem, és vizuálisan is megvizsgáltam.

A felületi érdesség mérést a következő paraméterekkel végeztem:

Letapogató tű leszorító ereje: $F_{isz}=0.9$ mN.
Letapogatósi úthossz: 17.5 mm.
Letapogató irányja: rostra merőleges.
Elektromos szűrő típusa: Gauss szűrő.
Határ hullámhossz: 2.5 mm.
Felvett profil típusa: P ún. valóságos profil.
Vizsgált érdességi jellemzők: R_z ; R_a ; R_{max} ; R_k ; R_{vk} ; R_{pk} ; MR1; MR2; Abbott-görbe.

Erdei fenyő esetén próbatestenként 10 mm-ként végeztem érdesség mérést, míg bükk próbatestek esetén 5 mm-ként.

Vizuálisan a felület kiszakadását vizsgáltam. Fafajonként a szálkiszakadások csaknem azonos felületűek voltak, ezért a felületegységre eső felületkiszakadási számot vizsgáltam.

4.3.2 A faanyag szálirány hatásának vizsgálata

A faanyag szálirányának hatását erdei fenyő és tölgy próbatesteken vizsgáltam. A próbatestek felületét homlokmaróval simító megmunkálással munkáltam meg.

A felhasznált szerszám paraméterei a következők voltak:

Szerszámtest:

Gyártó: Reichenbacher.
Típus: WL 400-2/130010417
HM Ø60 rechts O22.
Határ fordulatszám: $n_{max}=18\ 000$ 1/perc.
Lapka rögzítés: szorítóék.

Keményfém lapka:

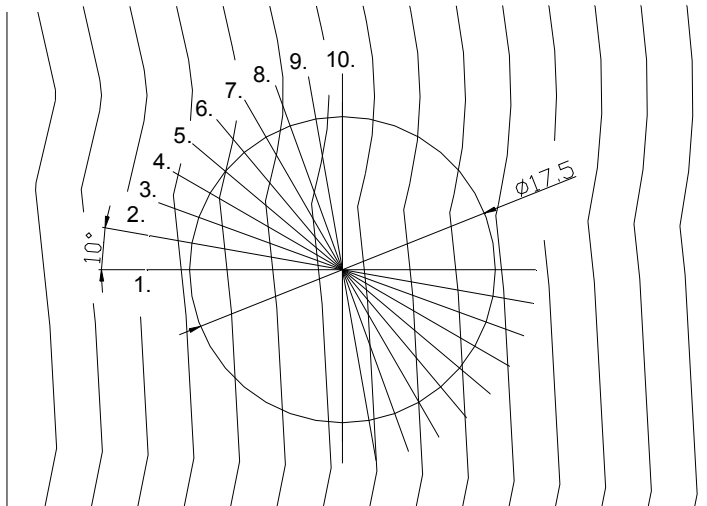
Gyártó: LEITZ.
Típus: TM405-D.
Méret: 12x12x1.5 [mm].

A szerszám makro-geometriai jellemzői az összeszerelés után a következők voltak:

Hátszög: $\alpha=35^\circ$;
Élszög: $\beta=55^\circ$;
Homlokszög: $\gamma=0^\circ$;
Élkörátmérő: 60.00 mm;
Élek száma: 4 db.

A megmunkálás 0.5 mm fogásmélységgel, 16 000 1/perc fordulatszámmal, 500 mm/perc előtolási sebességgel történt. Így a szerszám kerületi sebessége 50 m/s volt.

A próbatestek felületén, 3 helyen (középen és két szélen) jelöltem ki a 29. ábrán látható módon a letapogatandó profilok helyét.



29. ábra. Tűhúzási pályák a próbatest felületén

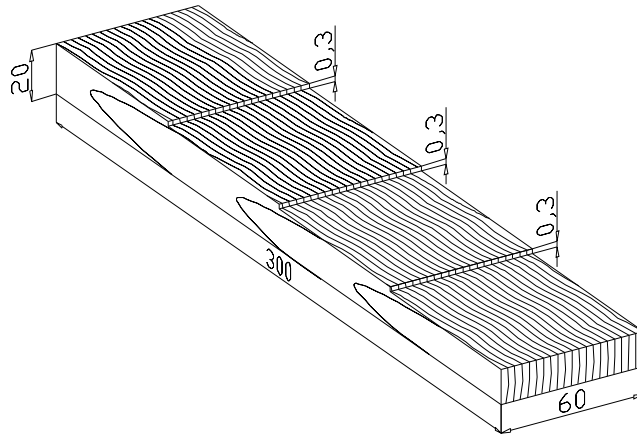
A felületi érdesség mérést a következő paraméterekkel végeztem:

Letapogató tű leszorító ereje: $F_{lsz}=0.9$ mN.
Letapogatósi úthossz: 17.5 mm.
Elektromos szűrő típusa: Gauss szűrő.
Határ hullámhossz: 2.5 mm.
Felvett profil típusa: P ún. valóságos profil.
Vizsgált érdességi jellemzők: R_z ; R_a ; R_{max} ; R_k ; R_{vk} ; R_{pk} ; MR1; MR2; Abbott-görbe.

4.3.3 A faanyag felületi jellemzőinek megállapítása

4.3.3.1 Labor körülmények között gyártott próbatestek kialakítása

A faanyag felületi jellemzőit lépcsőzetesen megmunkált próbatesteken végeztem. A lépcsőket a 4.1.3.2 pont alatt ismertetett homlokmaró szerszámmal készítettem, azonos megmunkálási paraméterekkel. A fogásmélység értéke itt azonban 0.3 mm volt (30. ábra).



30. ábra. Lépcsőzetesen megmunkált próbatest

4.3.3.2 Üzemi körülmények között gyártott próbatestek kialakítása

Az üzemi méréseket egy ablakgyártó üzemben végeztem. A tömbösített erdei fenyő próbatestek egy Weinig gyártmányú gyalu-maró gépen munkálták meg. Az általam vizsgált felületek a következő paraméterekkel munkálták meg:

Fordulatszám: $n=6000$ 1/perc;
 Fogásmélység: $H=15$ mm;
 Előtolási sebesség: $e=35$ m/perc;
 Előtolási irány: ellenirányú;
 Forgácsolt hossz: 1315 mm.

A megmunkáló szerszám makro-geometriai jellemzői a következők voltak:

Hátszög: $\alpha=8^\circ$;
 Élszög: $\beta=55^\circ$;
 Homlokszög: $\gamma=27^\circ$;
 Élkörátmérő: 163.00 mm;
 Élek száma: 6 db.

A gép folyamatos adagolású volt. Egy élezési ciklus 6 üzemóra volt. 30 perc üzemidőnként egy ablak elemet félretettek. Az ablakelemekből 200 mm-es hosszúságú próbatestek lettek kivágva.

A felületi érdesség mérést a következő paraméterekkel végeztem a próbatesteken, mindkét kialakítás mód esetén:

Letapogató tű leszorító ereje: $F_{lsz}=0.9$ mN.
 Letapogatósi úthossz: 17.5 mm.
 Letapogatósi irány: rostra merőleges.
 Elektromos szűrő típusa: Gauss szűrő.
 Határ hullámhossz: 2.5 mm.
 Felvett profil típusa: P ún. valóságos profil.
 Vizsgált érdességi jellemzők: R_z ; R_a ; R_{max} ; R_k ; R_{vk} ; R_{pk} ; MR1; MR2; Abbott-görbe.

Tülevelű próbatesteken 10 mm-ként végeztem érdesség mérést, míg a lombos próbatesteken 5 mm-ként, rost irányra merőlegesen.

4.3.4 A faanyag anatómiai jellemzőinek meghatározása

A faanyag anatómiai jellemzőit a próbatestekből készült mikroszkopikus bütü metszeteken mértem. Kivéve az évgyűrű szélességet, amit a próbatest bütü metszetén állapítottam meg.

A vizsgált anatómiai jellemzők a következők voltak:

Tülevelű fafaj esetén:

- átlagos évgyűrű szélesség;
- korai- és kései pászta aránya;
- lumen átmérők eloszlása korai pásztában;
- lumen átmérők eloszlása kései pásztában;
- felületegységre eső lumenek száma.

Lombos fafaj esetén:

- átlagos évgyűrű szélesség;
- korai- és kései pászta aránya;
- edény átmérők eloszlása korai pásztában;
- edény átmérők eloszlása kései pásztában;
- rost üreg átmérők eloszlása korai pásztában;
- rost üreg átmérők eloszlása kései pásztában;
- felületegységre eső edények száma;
- felületegységre eső rost üregek száma.

A faanyag különböző építő elemeinek átmérőit két irányban, sugár irányban és arra merőlegesen mértem. A nagyszámú mérés miatt szín szerinti detektálást alkalmaztam, amit a nagy hiba lehetőségre való tekintettel két módon is ellenőriztem. Egyrészt méréssel, másrészt számítással. Kiválasztott üregek méretét meghatároztam egyedi méréssel és szín szerinti detektálással is, szükség esetén a szín beállításon változtattam. Számítással vég ellenőrzést végeztem. Az építőelemek eloszlási görbéjéből meghatároztam az 50 %-os gyakorisághoz tartozó méretet és a felületegységre eső darabszámok és átlagos évgyűrű szélesség, valamint a sejtfal sűrűség segítségével kiszámoltam a próbatest abszolút száraz térfogati sűrűségét, amit összevettem a ténylegesen mért abszolút száraz térfogati sűrűséggel.

4.3.5 A szerszámél kopottságának hatása a felületi minőségre

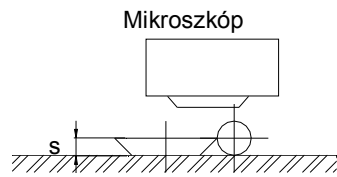
A szerszámél kopottságának hatását a 4.1.3.1 pontban ismertetett próbatesteken végeztem, a szintén a fenti pontban ismertetett homlokmaró segítségével. A keményfém lapkák koptatását 19 mm-es MDF lapok folyamatos forgácsolásával végeztem.

A forgácsolási paraméterek a következők voltak:

Fordulatszám: $n=16\ 000\ 1/\text{perc}$;
Előtolási sebesség: $e=400\ \text{mm}/\text{perc}$;
Fogásmélység: $H=1\ \text{mm}$.

Az új keményfém lapkák lekerekítési sugarát (ρ) lemértem fénymikroszkóp segítségével. A próbatesteket megmunkáltam a fenti paraméterekkel, éles szerszámmal, aztán a 4.1.3.1 pontban leírtak szerint megvizsgáltam a felületi minőségüket. Majd 500, 1200 és 1800 folyóméter MDF lap elforgácsolása után újból elvégeztem a fenti lépéseket, valamint a kiszereztem a keményfém lapkákat és

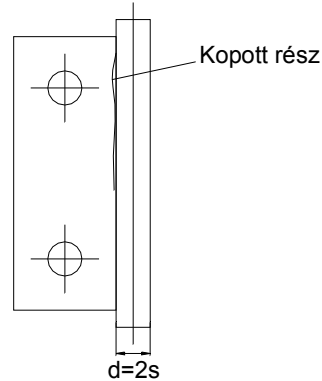
lemértem az él visszahúzódsukat (Δy) (lásd a melléklet 8.7.3 pontjában). Az él visszahúzóds értékének segítségével kiszámoltam az él egyenértékű lekerekítési sugarát a hossz függvényében (31. ábra).



$$\rho = y \cdot \frac{\sin(\beta/2)}{1 - \sin(\beta/2)} = 0.8579 \cdot y \quad (1)$$

$\beta=55^\circ$ esetén

$$\rho_0=10 \mu\text{m} \rightarrow y_0=11.6564 \mu\text{m}$$



$$\rho = 0.8579 \cdot (y_0 + \Delta y) \quad (2)$$

Ahol:

ρ - az él lekerekítési sugara [μm];

y - az él visszahúzóds mértéke [μm].

31. ábra. Az él visszahúzóds mérésének elve

Az él kopása a hossz mentén nem volt egyenletes. A középső részen azonban kaptam 13 mm hosszú részt, ahol a lekerekítési sugár nem változott lényegesen. A mintadarabok megmunkálása a mérésekhez ezzel a szakasszal történt.

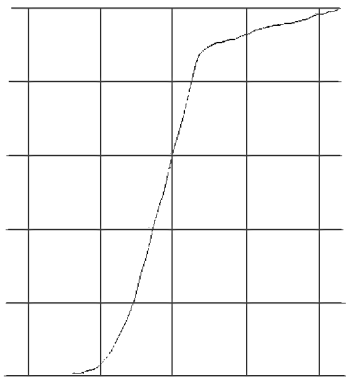
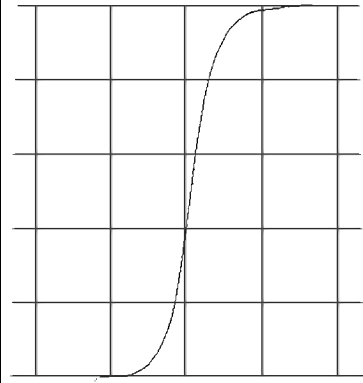
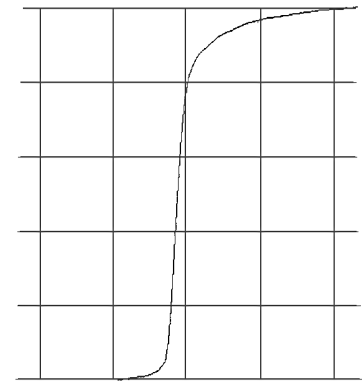
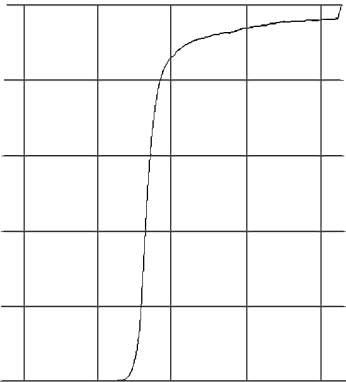
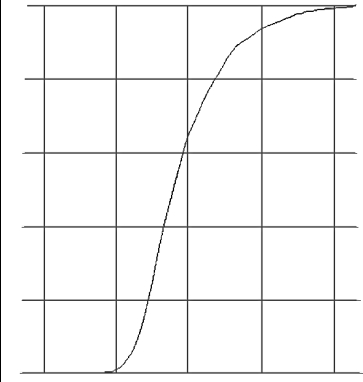
5 A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK, A KUTATÓMUNKA EREDMÉNYEI

5.1 Előzetes vizsgálatok

Mint korábban említettem, a felületi érdesség jellemzésében felhasználok az Abbott-görbe jellemzőit is. Mivel a korábbi vizsgálatokból kevés információ volt szereszhető az Abbott-görbével és annak felhasználásával kapcsolatban, ezért érdekes volt megvizsgálni, hogy a különböző fafajokra hogyan néz ki az Abbott-görbe, és az eltéréseket mi okozhatja. Ilyen összeállítást mutat be az 7. táblázat (az Abbott-görbék alsó pontja a 0%-os, felső pontja a 100 %-os anyagtartalom értékhez tartozik).

7. táblázat. A fafajra jellemző Abbott-görbék

| | | |
|--|--|--|
| Ébenfa $R_a=1.31 \mu\text{m}$ $R_z=12.51 \mu\text{m}$ $R_{pk}=2.26 \mu\text{m}$ $R_k=3.80 \mu\text{m}$ $R_{vk}=2.26 \mu\text{m}$ $\rho_0=1104 \text{ kg/m}^3$ | Erdei fenyő $R_a=2.43 \mu\text{m}$ $R_z=24.60 \mu\text{m}$ $R_{pk}=3.66 \mu\text{m}$ $R_k=5.60 \mu\text{m}$ $R_{vk}=6.67 \mu\text{m}$ $\rho_0=535.9 \text{ kg/m}^3$ | Lucfenyő $R_a=3.86 \mu\text{m}$ $R_z=31.42 \mu\text{m}$ $R_{pk}=3.30 \mu\text{m}$ $R_k=10.73 \mu\text{m}$ $R_{vk}=9.58 \mu\text{m}$ $\rho_0=384 \text{ kg/m}^3$ |
| | | |
| Nyugati tuja $R_a=3.49 \mu\text{m}$ $R_z=30.79 \mu\text{m}$ $R_{pk}=4.90 \mu\text{m}$ $R_k=10.38 \mu\text{m}$ $R_{vk}=6.44 \mu\text{m}$ $\rho_0=383 \text{ kg/m}^3$ | Vörös fenyő $R_a=4.38 \mu\text{m}$ $R_z=41.29 \mu\text{m}$ $R_{pk}=5.33 \mu\text{m}$ $R_k=8.61 \mu\text{m}$ $R_{vk}=12.65 \mu\text{m}$ $\rho_0=717 \text{ kg/m}^3$ | Bükk $R_a=4.47 \mu\text{m}$ $R_z=39.23 \mu\text{m}$ $R_{pk}=2.66 \mu\text{m}$ $R_k=6.68 \mu\text{m}$ $R_{vk}=17.27 \mu\text{m}$ $\rho_0=602 \text{ kg/m}^3$ |
| | | |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Magas kőris</p> <p>$R_a=9.78 \mu\text{m}$ $R_z=65.16 \mu\text{m}$ $R_{pk}=9.66 \mu\text{m}$ $R_k=16.17 \mu\text{m}$ $R_{vk}=49.80 \mu\text{m}$ $\rho_0=577.75 \text{ kg/m}^3$</p>  | <p>Fehér nyár</p> <p>$R_a=6.00 \mu\text{m}$ $R_z=53.41 \mu\text{m}$ $R_{pk}=8.68 \mu\text{m}$ $R_k=17.12 \mu\text{m}$ $R_{vk}=12.15 \mu\text{m}$ $\rho_0=398.8 \text{ kg/m}^3$</p>  | <p>Fehér akác</p> <p>$R_a=5.40 \mu\text{m}$ $R_z=55.42 \mu\text{m}$ $R_{pk}=4.61 \mu\text{m}$ $R_k=5.80 \mu\text{m}$ $R_{vk}=24.61 \mu\text{m}$ $\rho_0=600 \text{ kg/m}^3$</p>  |
| <p>Tölgy</p> <p>$R_a=9.57 \mu\text{m}$ $R_z=75.61 \mu\text{m}$ $R_{pk}=4.76 \mu\text{m}$ $R_k=7.39 \mu\text{m}$ $R_{vk}=52.14 \mu\text{m}$ $\rho_0=582.4 \text{ kg/m}^3$</p>  | <p>Balsafa</p> <p>$R_a=10.80 \mu\text{m}$ $R_z=73.75 \mu\text{m}$ $R_{pk}=4.88 \mu\text{m}$ $R_k=27.63 \mu\text{m}$ $R_{vk}=26.76 \mu\text{m}$ $\rho_0=223 \text{ kg/m}^3$</p>  | |

Mint látható a finom, egyenletes szövetszerkezet esetén az „S” görbe alakja csaknem szabályos. Az egyenetlen szövetszerkezet, főleg nagy edényekkel aszimmetrikus „S” görbét eredményez. A táblázatból az is kiderül, hogy a térfogat sűrűség önmagában nem alkalmas a fa felületi érdességének előrejelzésére. A görbéken általában felismerhető, hogy az asszimetria minden esetben azonos oldalra mutat, aminek oka minden bizonnyal a jó felületi megmunkálás.

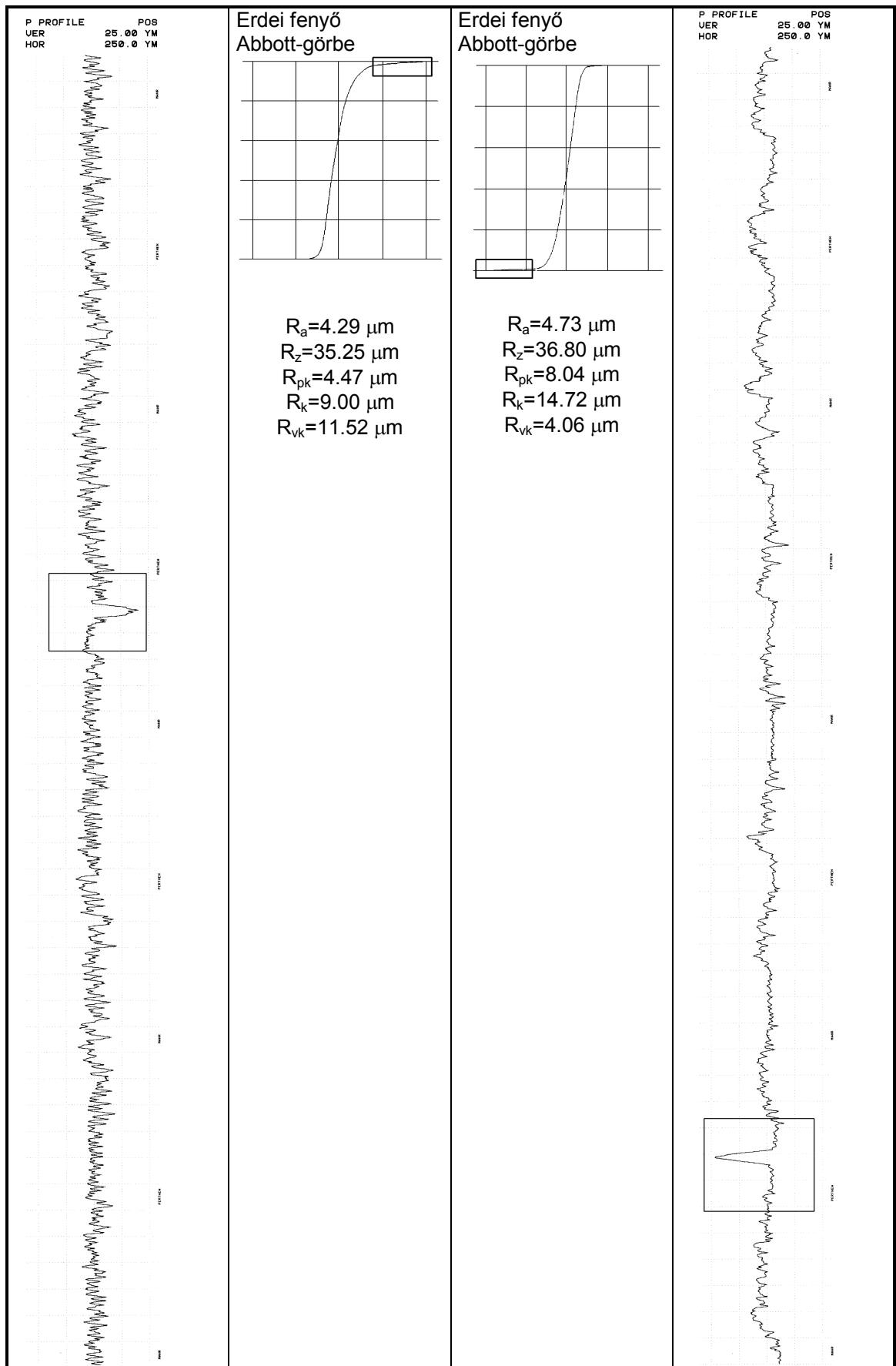
A későbbiekben (47. ábra) látható lesz, hogy a kopott szerszám a felületi rétegeket deformálja, és ennek következtében az Abbott-görbe alakja alapvetően módosul.

5.2 Megfigyelt anomáliák, módszertani problémák

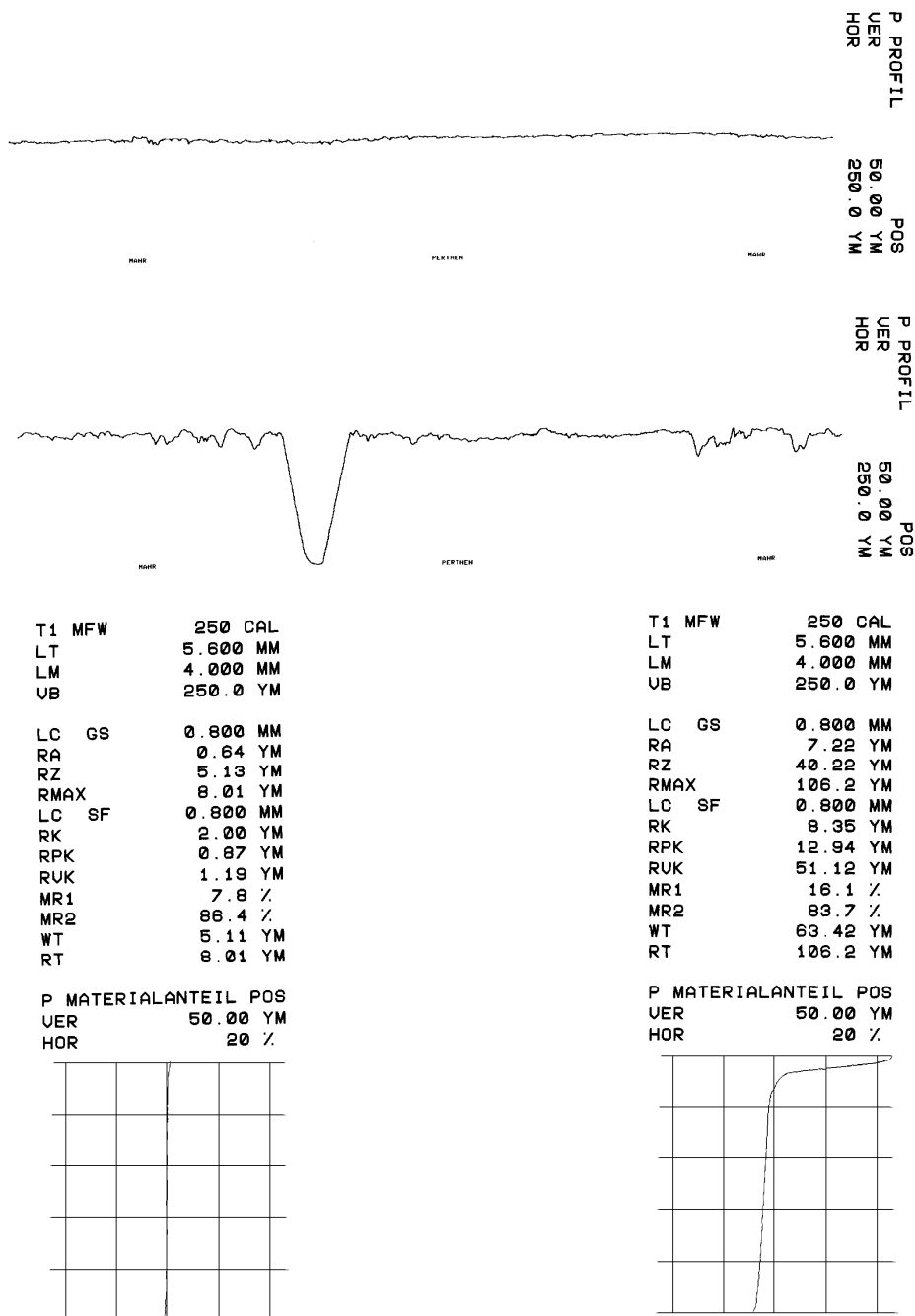
A felvett profilokat érdemes első lépésben vizuális vizsgálatnak alávetni, hogy az esetleges hibás eredményeket figyelmen kívül hagyhassuk. Két alapvető ilyen hiba szokott lenni, a felületen fellépő karcolás vagy repedés, illetve felületi szennyeződés. Ezekben az esetekben az Abbott-görbe felső, vagy alsó része aránytalanul megnyúlik vízszintesen, és ezen a szakaszon nem lesz görbe alatti terület. Ezekben az esetekben célszerű az R_z értéket korrigálni, amennyiben általános törvényszerűségek kereséséről van szó.

Két tipikus esetet láthatunk a 8. táblázat ábráin, amely nem csak az Abbott-görbét, hanem a felvett P profilt is mutatja.

8. táblázat. Mérési eredményeket befolyásoló hibák



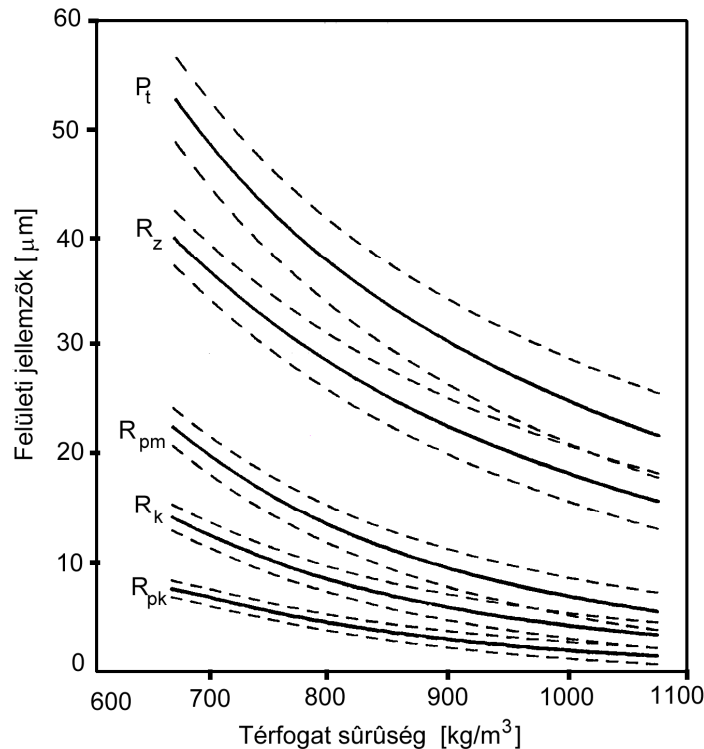
Hasonló hibát lehet elkövetni nagy edényű fajok esetén, ha rövid mérőszakaszt választunk. A mérési szakaszba beleeső átvágott edény alapvetően befolyásolja a mérési eredményeket. Ha ez nem felel meg az átlagos edényszámnak az egységnyi vonalhossz mentén, akkor a kapott eredmény nem felel meg az átlagos érdességi értéknek. Egy tipikus példát láthatunk a 32. ábrán.



32. ábra. Átvágott edény hatása az érdességi jellemzőkre tölgy fafaj esetén

A fenti jelenségeknek, mint anomáliáknak további következményei vannak a feldolgozás, és statisztikai értékelés során. Ezek a hibák nem véletlen hibák, hanem szisztematikus hibák, amelyek a középértéket is eltolják. A repedés ugyanis nem lehet plusz-mínusz, így például az R_z értéket mindig csak növeli, de sohasem csökkenti. A véletlen hiba viszont plusz-mínusz előjelű, a középérték két oldalán helyezkedik el, és normál eloszlás esetén nem tolja el a középértéket.

A szakirodalomban néhányan felvetették, hogy a felületi jellemzők kifejezhetők a fafajok térfogati sűrűségének függvényében. Megbízható összefüggés azonban nem látott napvilágot. Előzetes kísérleteim is azt mutatták, hogy az összefüggés nem is létezik (a 700 kg/m^3 sűrűségű igen sűrű évgyűrű szerkezetű vörös fenyő érdessége rosszabb, mint a 380 kg/m^3 nyugati tujájé). A térfogati sűrűség csak akkor lehetne jellemző mennyiség, ha a fákból lévő lyukak teljes hasonlóságot mutatnának, és csak méretük változna a térfogati sűrűséggel. Ilyen anyagnak tekinthető az MDF, amelyben a lyukak eloszlása a térfogati sűrűséggel jelentősen nem változik, csak átlagos méretük csökken a préselési nyomás növekedésekor. Valóban egyedül az MDF lapokra sikerült egyértelmű összefüggést találni a térfogati sűrűség függvényében DEVANTIER, B.-EMMLER, R 1996. [4].



33. ábra. MDF lapok felületi jellemzőinek változása a térfogati sűrűség függvényében homlokmarás esetén DEVANTIER, B.-EMMLER, R 1996. [4]

A felületi jellemzők hiperbolikusan csökkennek a térfogati sűrűséggel, és az R_z érték az alábbiak szerint fejezhető ki:

$$R_z = \frac{18.06}{\rho^{1.95}} \quad [\mu\text{m}]; \text{ ahol } \rho\text{-a térfogati sűrűség [g/cm}^3\text{].}$$

(3)

A fenti egyenlet $\rho=1.5 \text{ g/cm}^3$ helyettesítésekor $R_z=8.2 \mu\text{m}$ értéket ad, amely első közelítésben a megmunkálás okozta érdességnek tekinthető.

Az MDF vizsgálata nem volt feladatomban, de a probléma általános jelentősége miatt egyszerű számítást végeztem arra vonatkozóan, hogy az MDF lapok 0.65 és 1.1 g/cm^3 térfogati sűrűség változása közben a lyukak száma állandó maradhat-e, vagy azok valamelyest csökkennek. A számításokhoz gömb és hengeres alakú lyukak vehetők fel. A lyukak számát a porozitás és a méret szabja meg.

A rendelkezésre álló összefüggések:

$$\rho = (1 - n) \cdot \rho_a \quad (4)$$

$$n = \frac{m_1 \cdot d_1^3 \cdot \Pi}{6} \quad (\text{gömb}) \quad (5)$$

$$n = \frac{m_2 \cdot d_2^2 \cdot \Pi}{4} \quad (\text{henger}) \quad (6)$$

ahol: n – a porozitás;
 d_1, d_2 – a lyuk átmérője;
 m_1, m_2 – a lyukak száma [db/cm³], illetve [db/cm²];
 ρ_a – a fa valódi sűrűsége (1.52 g/cm³).

Az elmetszett (megmunkált) felület vonal menti keresztmetszet hiánya (lásd az 5.6 pontban):

$$\Delta F = \frac{\Pi}{8} \cdot \sqrt[3]{m_1} \cdot d_1^2 \quad (\text{gömb}) \quad (7)$$

$$\Delta F = \frac{\Pi}{8} \cdot \sqrt{m_2} \cdot d_2^2 \quad (\text{henger}) \quad (8)$$

A számításokhoz kiinduló adatokat kell felvenni úgy, hogy legalább egy pontban a későbbi adataimhoz közelálló ΔF értéket kapjunk. A kiinduló adatot a $\rho=0.65$ g/cm³ sűrűséghez vettem fel. A számítások eredményeit az alábbi táblázat mutatja:

9. táblázat. A modell számítások eredményei

| ρ [g/cm ³] | n | R_z [μm] | d_1 [μm] | d_2 [μm] | $\Delta F_{\text{gömb}}$ [mm ² /cm] | ΔF_{henger} [mm ² /cm] |
|--------------------------------|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|
| 0.65 | 0.5667 | 40 | 25 | 25 | 0.1 | 0.084 |
| 1.1 | 0.2667 | 10 | 19.44 | 17.15 | 0.061 | 0.039 |

A kapott adatok értékelése a következő. A későbbi eredmények szerint, figyelemmel a mért R_z értékekre (40 és 15 [μm]), a ΔF értékek között körülbelül háromszoros eltérésnek kellene lennie. A modellszámítás a hengeres lyukakra 2.15, a gömb alakúakra csak 1.64-szeres arányt ad. Ebből két dologra lehet következtetni:

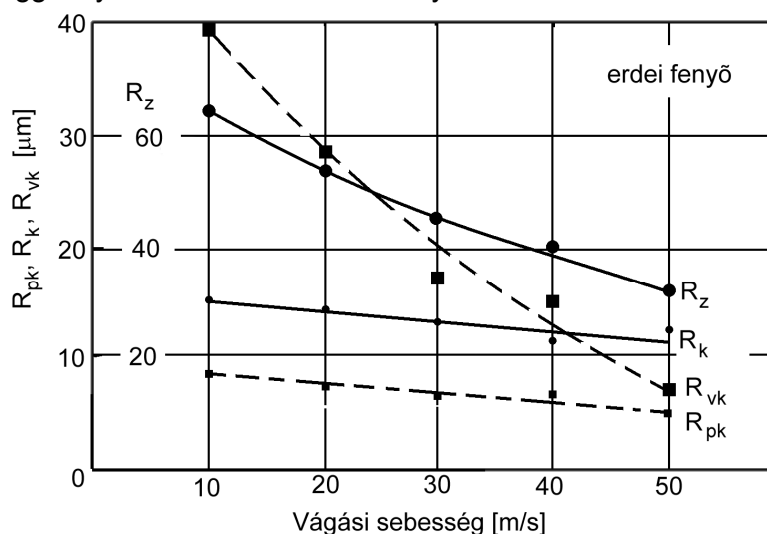
1. A valódi lyukak közelebb állnak a hengeres alakhoz, mint a gömb alakhoz.
2. A lyukak száma az erősebb tömörítéskor nem marad állandó, vagyis a kisebb méretű lyukak gyakorlatilag eltűnhetnek.

Tehát még MDF lap esetében sem marad meg a lyukak teljes hasonlósága a tömörítés során. Ugyanakkor a kisebb mértékű szisztematikus lyukszám csökkenés még nem teszi lehetetlenné az R_z értékek sűrűség függvényében való ábrázolását.

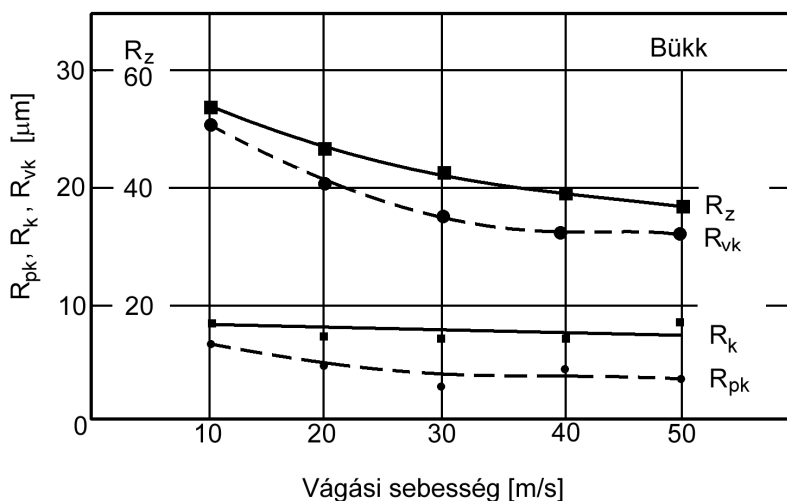
5.3 A forgácsolási sebesség hatásának vizsgálati eredményei

Régóta ismeretes, hogy a forgácsolási sebesség hatással lehet a kialakuló felületi érdességre, ennek ellenére reálisan megalapozott törvényszerűségek eddig nem álltak rendelkezésre. Mivel vizsgálataim fő célja a faanyagok struktúrájának hatása a felületi minőségre vonatkozóan, ezért a vizsgálatokat a forgácsolási sebesség hatásának vizsgálatával kezdtem, hogy alapkísérleteimhez az optimális forgácsolási sebességet meghatározhassam.

A fenti célkitűzések alapján két gyakran használatos fafajra (erdei fenyő, bükk) meghatároztam az R_z és az Abbott-görbe paramétereinek változását a forgácsolási sebesség függvényében. A mérési eredményeket a 34. és 35. ábrák szemléltetik.



34. ábra. A vágási sebesség hatása egyes felületi minőségi paraméterekre erdei fenyő esetén



35. ábra. A vágási sebesség hatása egyes felületi minőségi paraméterekre bükk esetén

Az ábrákból több hasonló következtetést lehet tenni:

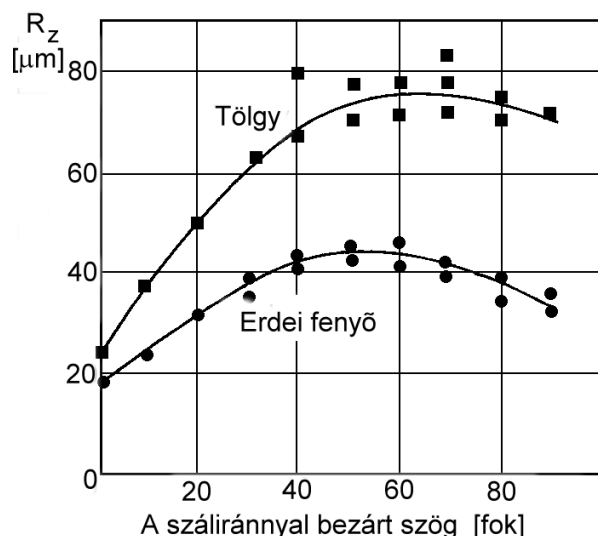
1. A forgácsolási sebesség növekedésekor az R_z értékek lényegesen csökkennek. A csökkenés 50 m/s értékig is folytatódik, habár különösen a büknél a csökkenés mértéke fokozatosan lassul.
2. Érdekes eredmény, hogy a forgácsolási sebesség nagymérvű növelése során az R_k és R_{pk} értékek mindkét faj esetében alig változnak. Így R_z változásához alapvetően az R_{vk} érték csökkenése járul hozzá.
3. Az R_k érték növekedését minden bizonnyal a periodikusan megjelenő mikro-repedések okozzák a tehetetlenségi erők csökkenése következtében. Vágás ugyanis csak akkor lehetséges, ha a megfelelő ellenőrző rendelkezésre áll. Kisebb sebességnél ez csak az anyag tömörítésével érhető el, és ez a lokális deformáció repedést okoz.

A fenti mérési eredmények figyelembevételével az összes mintadarab megmunkálása 50 m/s forgácsolási sebességgel történt. Ennél nagyobb forgácsolási sebességet az esetek túlnyomó részében a gyakorlat sem használ. Ugyanakkor az a forgácsolási sebesség éles szerszám esetén minden fajtánál egyenletesen finom felületet adott és lehetővé tette a struktúra okozta érdesség fő törvényszerűségeinek meghatározását.

5.4 A mérési irány és a faanyag szálirány közötti szög hatásának vizsgálata

Az alapvető vizsgálataim során az érdesség mérése minden esetben a faanyag szálirányára merőlegesen történt, ezért tájékozódó méréseket végeztem arra nézve is, hogy a forgácsolási irány és a faanyag szálirány közötti szög hogyan befolyásolja az R_z érdesség értéket.

Két faj mintáin végeztem méréseket, ezek az erdei fenyő és a tölgy voltak. A mért R_z értékek átlag értékeit a faanyag szálirányával bezárt szög függvényében a 36. ábrán láthatjuk.

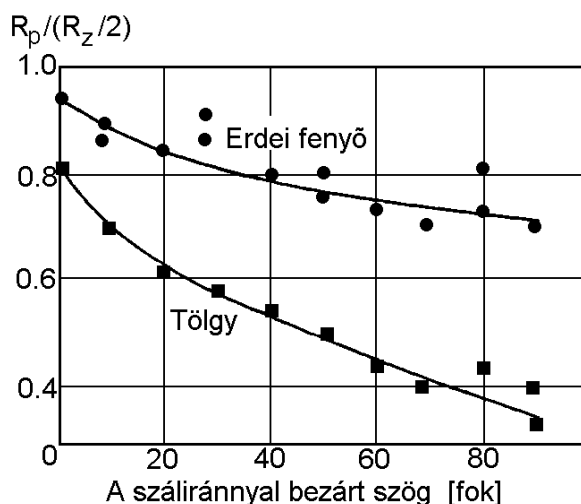


36. ábra. Az R_z érdességi paraméter változása a mérési irány és a faanyag szálirány közötti szög változása függvényében

Az ábrából megállapítható, hogy a két fafaj lényegében azonos módon viselkedik. A száriránnyal bezárt szög növekedésekor az R_z érték növekszik, maximális értékét 50° - 70° -os tartományban éri el, majd a 90° -os értékig kismértékben csökken.

A 90° előtti maximum minden bizonnyal azzal van kapcsolatban, hogy itt a mérési szakaszba eső edények, illetve tracheidák száma még nem nagyon csökken, ugyanakkor a ferde áthaladás nagyobb keresztmetszetet ad, növelve a struktúra okozta érdességet. A gyűrűs likacsú tölgy ferde vágása a szórást a 40 - 80° -os tartományban külön növeli attól függően, hogy a nagy méretű edények éppen hol futnak ki a felületre.

Egy másik megközelítésben az Abbott-görbe paramétereinek birtokában az R_p értékeket viszonyítottam az $R_z/2$ értékekhez. A kapott összefüggést a 37. ábra mutatja.

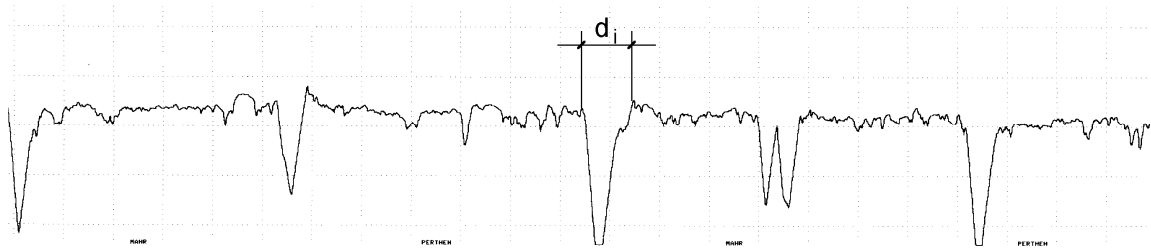


37. ábra. Az $R_p/(R_z/2)$ érdességi paraméter változása a mérési irány és a faanyag szárirány közötti szög változása függvényében

Ezek a görbék mindkét esetben egyértelműen csökkenő tendenciát mutatnak a mérési irány és a faanyag száriránnyal bezárt szög függvényében. Ez azt jelenti, hogy az R_p az érdesség profilhegy magassága (lásd 3. táblázatban) szisztematikusan csökken az R_z értékhez viszonyítva. Ez továbbá azt jelenti, hogy a mérési irány és a faanyag száriránnyal bezárt szög növekedésével részben az R_k , de leginkább az R_{vk} értékek növekednek.

5.5 A fafajok belső struktúráját jellemző szám keresése

Már az eddig bemutatott vizsgálati eredmények is mutatták, hogy egyes fafajok érdessége között lényeges különbségek adódhatnak annak ellenére, hogy a felület kialakításakor a lehető legjobb felületi minőségű megmunkálást alkalmaztam. A tényleges profilok vizsgálata azt mutatta, hogy a fában lévő lyukak alapvetően hozzájárulnak az eredő érdesség kialakulásához. Példaként bemutatom egy tölgy minta valóságos P profilját.



38. ábra. Tölgy fafaj P profiljának részlete

Az ábrán világosan felismerhető a jól megmunkált síkfelület, amelyben az anyagihiányt elsősorban az elvágott edények és rostok adják.

A fentiek alapján kézenfekvő volt egy felületet jellemző számot keresni. A legegyszerűbb próbálkozásnak az tűnt, hogy a valóságos P profil alapján közelítőleg megállapítom a mérőprofil hossza mentén az átvágott lyukak méretét (lásd 38. ábra d mérete) és számát, és azokból egy struktúrát jellemző számot határozzak meg. A felvett profilokat kétszeres méretre nagyítottam és az L mérőszakasz mentén lemértem minden lyuknak vélhető méretet körülbelül a $15\ \mu\text{m}$ -es méretig, tehát nemcsak a nagy edényméreteket. A mért adatokból egy közepes d méretet számoltam. Mivel az érdekességet, illetve anyagihiányt az átvágott lyuk keresztmetszete jellemzi, ezért a felület szerinti közepes átmérőt számoltam:

$$d = \frac{\sum d_i^2 \cdot n_i}{\sum d_i \cdot n_i} \quad (9)$$

ahol: d_i – az egyes lyukak átmérője;
 n_i – az egyes lyukak száma.

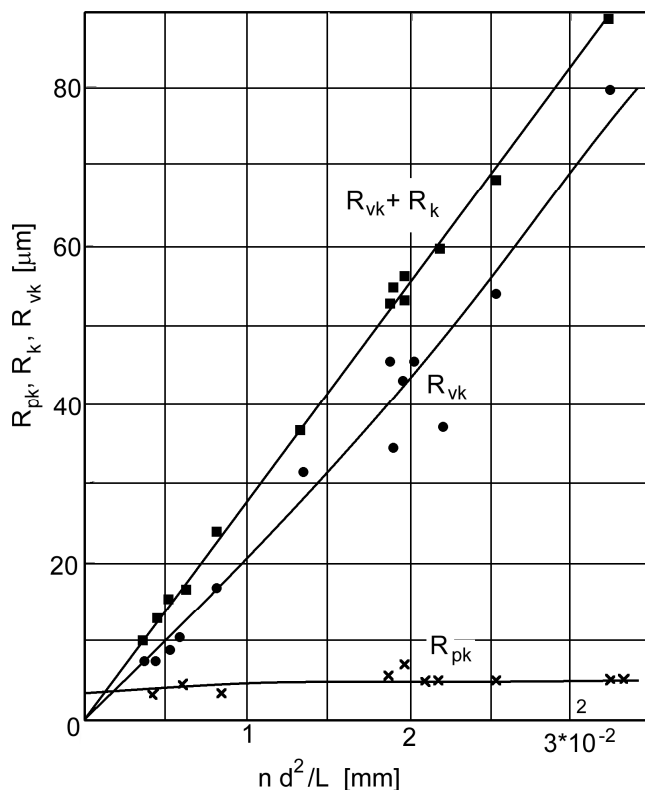
A feldolgozásban elsősorban a lombos fafajokat vontam be (tölgy, bükk, nyár, balsafa, akác), amelyek nagyobb edényekkel rendelkeznek.

A struktúrát az adott esetben az egységnyi hosszra jutó átvágott keresztmetszettel jellemeztem:

$$SN = n \cdot d^2 / L \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

ahol: $L=12.5\ \text{mm}$ – a mérőszakasz hossza;
 n – darabszám;
 d – az egyenértékű átmérő.

Az Abbott-görbe paramétereinek változását az SN struktúra szám függvényében a 39. ábra mutatja.



39. ábra. Az $SN=nd^2/L$ struktúra szám és az Abbott-görbe paramétereinek összefüggése

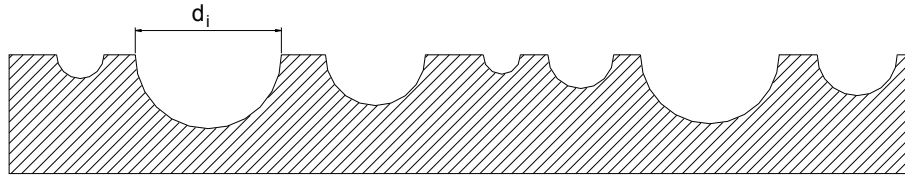
Az R_{vk} érték gyengébb korrelációt mutat, de az R_{pk} és az (R_k+R_{vk}) értékek szoros összefüggést mutatnak. Ennek megfelelően természetesen az összevont $(R_{pk}+R_k+R_{vk})$ paraméter is szoros összefüggést mutat.

A fenti eredmény meggyőzött arról, hogy a fa belső struktúrája alapvetően meghatározza az érdességet és található olyan struktúrát jellemző szám, amelyik egyértelműen felhasználható az érdesség jellemzésére.

Ugyanakkor az is világos, hogy a fenti ellenőrző módszer a gyakorlat számára nem megfelelő. Ha ugyanis fel kell venni az érdesség profilt, akkor minden szükséges eredménnyel rendelkezünk és nincs szükség összefüggésekre. Ezért ezt követően egy hasonló, de a gyakorlat számára megfelelőbb struktúra számot kerestem.

5.6 A struktúra szám, az érdesség alapösszefüggése

Az előző eredményekből világos, hogy a struktúra okozta érdességet a fában lévő lyukak mérete, és száma határozza meg. Ezért az új struktúrát jellemző szám is ezen alapul. A megmunkálás során a lyukakat átvágjuk (40. ábra),



40. ábra. Fa felületi modellje

ezek összesített keresztmetszetét az egységnyi hosszra vonatkoztatva egy ΔF [cm^2/cm] számmal jelöljük. A ΔF kiszámítása bizonyos megfontolásokat igényel.

Általános esetben (lombos fák) meg kell különböztetni korai és kései pászta, valamint nagyméretű edényeket és lényegesen kisebb méretű rostokat, illetve tracheidákat. Ezenkívül a lyukak mind a négy csoportja nem azonos méretű, hanem jó közelítéssel normál eloszlást mutat. Az eloszlás következtében elvileg integrálással kellene kiszámolni a várható átvágott keresztmetszetet, azonban közepes értékkel való számolás is csak 2-3 %-os szisztematikus hibát ad. A fentiek figyelembevételével:

$$\Delta F = \frac{\Pi}{8} \left[a \cdot (\sqrt{n_1} \cdot d_1^2 + \sqrt{n_2} \cdot d_2^2) + b \cdot (\sqrt{n_3} \cdot d_3^2 + \sqrt{n_4} \cdot d_4^2) \right] \quad (11)$$

ahol:

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

Mint látható, a ΔF mennyiség számításához a közepes átmérőket és a vonalmentén előforduló lyukak számát használom fel. Vagyis a pontos $\sum d_x^2 \cdot n_x$ mennyiség helyett, a $d_k^2 \cdot n_\delta$ mennyiséggel számolok. Ez közelítés, de kis hibájú közelítés.

A normál eloszlás:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \Pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (12)$$

összefüggését felhasználva egy konkrét példa keretében ($m=20 \mu\text{m}$ és $\sigma=\pm 5 \mu\text{m}$) megvizsgáltam a két mennyiség arányát, és a következőket kaptam ($n_\delta=100 \text{ db}$):

$$\frac{\sum_{x=1}^{100} d_x^2 \cdot n_x}{d_k^2 \cdot n_\delta} = 1.02113 \quad (13)$$

vagyis a pontos számítás 2.1 %-al ad nagyobb értéket a közelítéshez viszonyítva. A lyukak eloszlását, az edényeket is, kénytelenek vagyunk egyenletesnek feltételezni, mivel az is véletlen, hogy a felületet éppen majd hol alakítjuk ki. Ezért számolunk \sqrt{n} darabszámmal.

Fenyőfélék esetén értelemszerűen csak kétféle átmérővel számolok.

A ΔF érték meghatározásához ismerni kell a lyukak méretét és fajlagos darabszámát, valamint a pásztaarányt. Ezeket a vizsgált fajokra megállapítottam, mégpedig a vizsgálatokra előkészített próbadarabok alapján. Ez igen fáradtságos munka volt.

A múltban kialakult klasszikus mikroszkópos mérési módszer elegendően pontos, de lassú módszer. A képfeldolgozás sokkal egyszerűbb, esetenként nagyon pontatlan erre hívja fel a figyelmet DONALDSON és LAUSBERG (1998.) [5] is. Magam 1.45-szörös eltérést is tapasztaltam. Mivel itt az átmérők négyzete szerepel, ezért az átmérők pontossága döntőnek bizonyult. Ezért kétszeres ellenőrzést végeztem, melynek leírása a 4.1.3.4. pontban is szerepel.

A munka menete a következő volt. A képfeldolgozással kapott átmérőket minden egyes esetben ellenőriztem. A mérő fénymikroszkóppal ellenőriztem az átmérők egy részét. A térfogatsűrűség ismeretében ellenőriztem, hogy a lyukak térfogata megfelel-e a porozitásnak, a már korábban felírt $\rho=(1-n) \rho_a$ összefüggés alapján (lásd az 5. egyenletet).

A kapott eredményeket a vizsgált fajokra az alábbi táblázatban foglaltam össze:

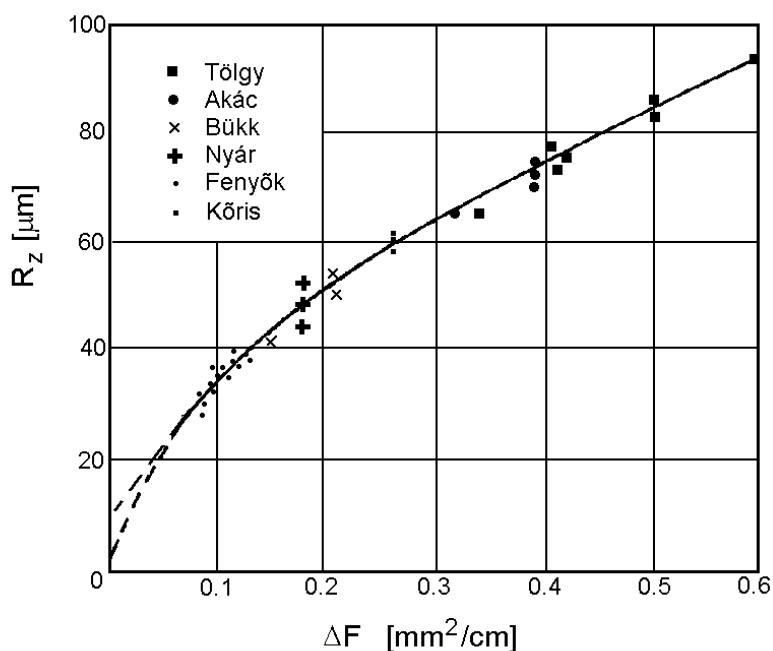
10. táblázat. A számításokhoz használt anatómiai jellemzők átlag méreteinek összefoglaló táblázata

| Fafaj | Korai pászta | | | Kései pászta | | |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| | \bar{d}_i [μm] | \bar{n}_i [db/cm ²] | \bar{a} | \bar{d}_i [μm] | \bar{n}_i [db/cm ²] | \bar{b} |
| Nyugati tuja | 26.5 | 142 800 | 0.8482 | 14.0 | 316 600 | 0.1518 |
| Lucfenyő | 30.0 | 111 335 | 0.8478 | 19.0 | 169 400 | 0.1522 |
| Erdei fenyő | 27.0 | 68 100 | 0.6694 | 19.0 | 120 840 | 0.3360 |
| Vörösfenyő | 38.0 | 55 490 | 0.6310 | 17.5 | 133 000 | 0.3690 |
| Bükk (edény) | 66.0 | 15 740 | 0.7000 | 48.0 | 14 020 | 0.3000 |
| Bükk (rost) | 8.2 | 342 890 | | 6.4 | 495 290 | |
| Tölgy (edény) | 260.0 | 400 | 0.5900 | 35.7 | 30 172 | 0.4100 |
| Tölgy (rost) | 22.5 | 130 000 | | 19.6 | 142 000 | |
| Akác (edény) | 230.0 | 546 | 0.5800 | 120.4 | 2 100 | 0.4200 |
| Akác (rost) | 14.8 | 290 000 | | 9.6 | 340 000 | |
| Nyár (edény) | 69.7 | 8 500 | 0.6666 | 44.8 | 12 700 | 0.3444 |
| Nyár (rost) | 12.7 | 309 500 | | 11.4 | 339 892 | |
| Kőris (edény) | 177.0 | 670 | 0.6100 | 52.00 | 870 | 0.3900 |
| Kőris (rost) | 19.5 | 190 000 | | 15.0 | 271 000 | |

A mérések részletes eredményeit valószínűségi hálón ábrázolva a melléklet 9.3 pontja tartalmazza.

Mint érdekességet megjegyzem, hogy a vizsgált edényes fajok edényátmérői és fajlagos darabszámai között meglepően szoros kapcsolat adódott (lásd melléklet 52. ábra).

Ezután a mérések alapján minden egyes fajra meghatároztam az R_z értékeket, és a hozzá tartozó ΔF struktúra számot, és ezeket ábrázoltam a 41. ábrán.



41. ábra. A struktúraszám (ΔF) és az R_z paraméter összefüggése különböző fafajú próbatestek esetén

Az ábrán négy fenyő és öt lombos fafaj mérési eredményei láthatók együtt.

A 41. ábra adataihoz még a következőket fűzöm hozzá. Főleg a tölgy minták esetében kiderült, hogy a minták póruseloszlása nem azonos, ezért azokat külön-külön meghatároztam, amelyek aztán eltérő ΔF számokat adtak.

Mint korábban említettem, a mintadarabok felületén 0.3 mm-es lépcsőkkel négy-négy mérési felület készült, miáltal a felület mindig véletlenszerűen helyezkedik el az edényekhez viszonyítva. A mérési pontok általában egy-egy mérőfelületen nyert R_z értékek átlagértékei, de megvizsgáltam a próbadarab mind a négy felületén nyert mérések eloszlását is. Az adatokat valószínűségi hálón ábrázoltam, és jó közelítéssel normál eloszlást kaptam. (Lásd Melléklet 8.8 pontjában.) Az eloszlásból meghatározható a σ szórás, amelynek értéke erdei fenyőre $\pm 4.88 \mu\text{m}$, míg tölgyre $\pm 12.13 \mu\text{m}$. A tölgy esetében a nagyobb szórás a nagy edények nem egyenletes eloszlása okozza.

A 41. ábra a görbéje egyszerű hatványfüggvénnyel leírható az alábbi formában:

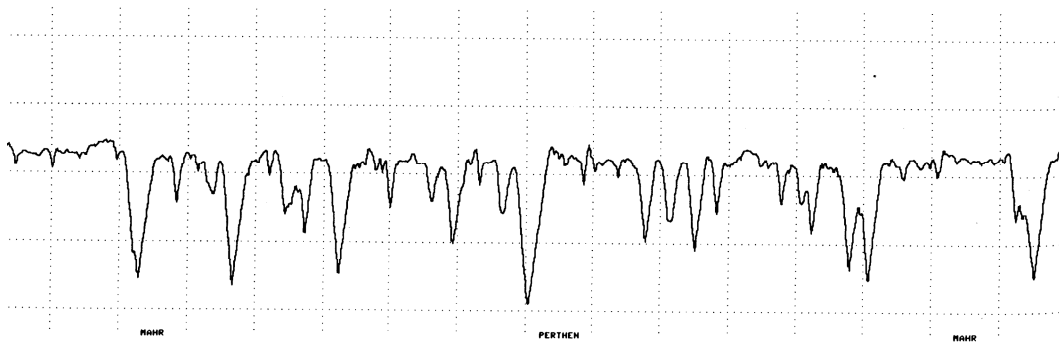
$$R_z = 124 \cdot \Delta F^{0.55}; \quad [\mu\text{m}] \quad (14)$$

ahol: ΔF mm²/cm-ben helyettesítendő. A korrelációs együttható $I=0.99$.

A mindenkor R_z érték természetesen nem kizárólag a struktúra okozta érdességből adódik, az mindig tartalmazza a megmunkálási érdességet is. A megmunkálási érdesség pontos meghatározása a következő kutatások feladata lesz, leválasztása az össz érdességből nem egyszerű. Ennek az az oka, hogy a megmunkálási érdesség és a kisebb méretű lyukak (tracheidák, rostok) által okozott érdesség azonos nagyságrendű, és ezek szűréssel nem választhatók külön.

A megmunkálási érdesség nagyságrendjét azonban ma is behatárolhatjuk. Korábban bemutattam a 40. ábrát, amelyen egyértelműen látszik, hogy a megmunkálási érdesség nem haladhatja meg a 10-15 μm -t.

Bükk fafajra vonatkozik a 42. ábra, amely hasonló képet mutat.



42. ábra. Bükk fafaj P profiljának részlete

Ezen megfontolások alapján a 41. ábra görbéje tengelymetszékes is lehet, ahol a tengelymetszék a megmunkálási érdesség. A bemutatott ábrák alapján valószínűsíthető, hogy a megmunkálási érdesség az egész tartományban sem változik alapvetően, amennyiben a kés éles. Ezzel a feltételezéssel az előbbi egyenlet így is írható:

$$R_z = 10 + (115.7 \cdot \Delta F^{0.65}) \quad [\mu\text{m}]. \quad (15)$$

A 41. ábra alapján alapvető következtetések tehetők:

1. Első ízben sikerült a különböző fajok érdességét egy közös diagramban ábrázolni, és ezzel egy általános törvényszerűséget találni.
2. Az érdesség jelentős, néha túlnyomó hányadát a struktúra okozta érdesség teszi ki. Megfordítva ez azt jelenti, hogy egy adott faj elérhető felületi minőségét annak struktúrája behatárolja.
3. Éles kés alkalmazása esetén a megmunkálási érdesség részaránya az össz érdességben kisebb, nagyedényű fajok esetén sokszor alárendelt jelentőségű lehet.

Az egy további és távolabb mutató kérdés, hogy a megmunkálási érdesség, még ha látszólag nem is nagy, hogyan befolyásolja a felület optikai tulajdonságait, és esetleg tovább optimalizálható-e valamilyen definiált igények kielégítése szempontjából.

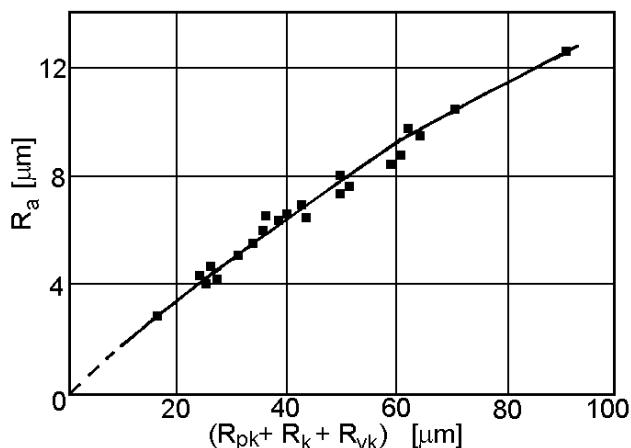
5.7 Az átlagos érdesség R_a és az érdesség mélység R_z paraméterek összefüggése az Abbott-görbe jellemzőivel (R_{pk} , R_k , R_{vk})

A faipari szakma a felületek jellemzésére eddig alapvetően az R_z értéket használta. Az R_a érték az R_z értékkel csak nagyon laza korrelációt mutat, ezért gyakorlatilag nem is használják. Az Abbott-görbe paramétereit is nagyon kevesen használták és így arra sem találni adatot, hogy a fenti paraméterek egymás között hogyan függenek össze. Ezért az igen nagy számú mérési eredmény birtokában megpróbáltam belső összefüggéseket is keresni.

Elméleti következtetések a belső összefüggésekre nehezen tehetők, ezért különböző lehetséges összefüggéseket vizsgáltam meg. Ezek eredményeképpen jutottam az alább bemutatott összefüggésekhez.

A profilmélység alapvető részét az $R_{pk}+R_k+R_{vk}$ értékek összege adja, ezért várható volt, hogy ez az összevont paraméter korrelációban lesz a szokásos R_a és R_z értékekkel.

A 43. ábrán látható R_a változása az $(R_{pk}+R_k+R_{vk})$ összevont paraméter függvényében.

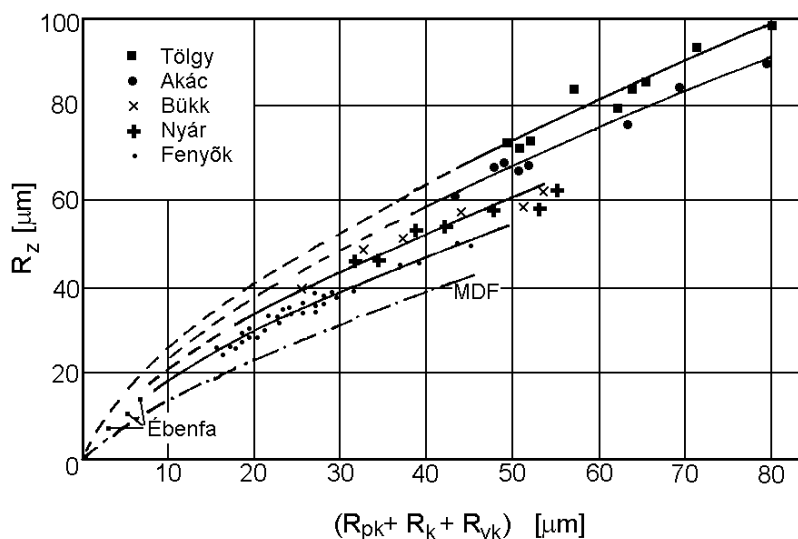


43. ábra. $(R_{pk}+R_k+R_{vk})$ összevont paraméter összefüggése az R_a értékkel

Az összefüggés meglepően szoros korrelációt mutat a különböző fajok adatainak felhasználásával. Az összefüggés nem lineáris, az összevont paraméter 0.8 hatványával arányos. A szoros összefüggés minden bizonnyal azzal magyarázható, hogy R_a egy integrálással kapott érték, éppen az R_{pk} , R_k és R_{vk} profilösszetevők alapján.

Ezután az R_z paraméter vizsgálata következett. Várható volt, hogy itt egy egyértelmű összefüggés az összes fajra nem nyerhető, mivel R_a és R_z között sincs egy egyértelmű összefüggés.

A részletesebb vizsgálat azonban azt mutatta, hogy az edény méretek növekedésével egymáshoz hasonló görbék rajzolhatók fel, amint ezt a 44. ábra mutatja.



44. ábra. $(R_{pk}+R_k+R_{vk})$ és az R_z paraméter összefüggése különböző fajok és az MDF lap esetén

Az érdekesség kedvéért berajzoltam az MDF megfelelő összefüggését is, amely mint leghomogénebb anyag, legalul helyezkedik el. A görbesereg egyenlete az alábbiak szerint írható le:

$$R_z = A \cdot (R_{pk} + R_k + R_{vk})^{0.65} \quad [\mu\text{m}] \quad (16)$$

ahol az 'A' állandó az edény méretekkel változik, a jelen esetben 3.45 (MDF) és 5.7 (tölgy) között.

A kapott görbesereget célszerűnek mutatkozott tovább vizsgálni. A belső törvényszerűségek további vizsgálata ugyanis azt mutatta, hogy az állandó értéke az összes fafajra (MDF-re nem) egyértelműen kifejezhető az alábbi módon:

$$A = 7.45 \cdot (R_k + R_{vk}) / R_z, \quad (17)$$

vagyis tömör faanyagnál az 'A' állandó csökkenése megfelel az $(R_k + R_{vk}) / R_z$ viszony csökkenésének. Az MDF más struktúrájú anyag, ezért nem illik bele a sorba. Amennyiben az eredeti egyenletben egyszerűsítésképpen R_{pk} értékét, annak kis értéke miatt elhanyagoljuk, akkor közelítőleg:

$$R_z \cong 2.73 \cdot (R_k + R_{vk})^{0.85} \quad (18)$$

amely tulajdonképpen az eredeti görbesereg kiegyenlítő görbéje. Ennek azért van bizonyos létjogosultsága, mivel a görbesereg egyes görbéi a valóságban csak szakaszonként léteznek. Ennek ellenére az eredeti egyenlet a pontosabb.

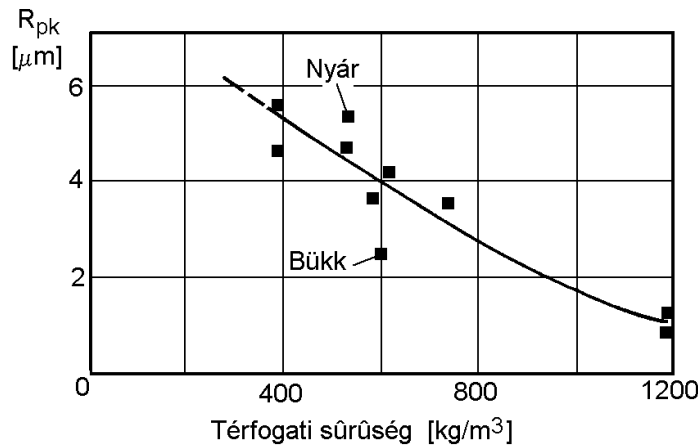
További törvényszerűségek is megfigyelhetők az egyes fafajok között az edénymérettől függően. Az Abbott-görbe R_k és R_{vk} paraméterei szisztematikusan átrendeződnek, ahogy az edények mérete változik. A 11. táblázatban összefoglaltam a fenti paraméterek relatív értékeinek változását az egyes fafajokra (nagy számú mérési eredmény átlagértékének felhasználásával).

11. táblázat. Az $R_z - R_k - R_{vk}$ közötti összefüggések a mérések alapján különböző fafajokra

| Fafaj | R_k/R_z | R_{vk}/R_z | $(R_k+R_{vk})/R_z$ | A |
|--------------|-----------|--------------|--------------------|------|
| Tölgy | 0.100 | 0.665 | 0.765 | 5.70 |
| Akác | 0.116 | 0.579 | 0.695 | 5.22 |
| Bükk | 0.187 | 0.4436 | 0.630 | 4.70 |
| Nyár | 0.230 | 0.350 | 0.580 | 4.33 |
| Nyugati tuja | 0.345 | 0.2177 | 0.5627 | 4.26 |
| Vörösfenyő | 0.226 | 0.346 | 0.572 | 4.26 |
| Erdei fenyő | 0.261 | 0.2914 | 0.552 | 4.26 |
| Lucfenyő | 0.357 | 0.2086 | 0.5656 | 4.26 |

A nagyedényű tölgnél viszonylag kis R_k értéket és nagy R_{vk} értéket kapunk, és ezek eredményeképpen egy nagyon aszimmetrikus anyageloszlás görbe (Abbott-görbe) adódik. A fenyők felé haladva a két érték nagyjából azonos lesz és az anyageloszlás görbéje a szimmetrikus eloszlás felé közeledik. A fenyőket vizsgálva az R_k és R_{vk} értékek egymáshoz való viszonya bizonyos eltéréseket mutat. A kettő összege azonban a fenyőkre közel állandó.

Mint már említettem, a fő érdességi paraméterek a térfogatsűrűséggel nincsenek korrelációban. Egyedül a megmunkálási érdesség részét képező R_{pk} paraméter mutat korrelációs összefüggést a térfogatsűrűséggel, amelyet a 45. ábra szemléltet.



45. ábra. A térfogati sűrűség és az R_{pk} érték kapcsolata

A sűrűség növekedésével az anyag ellenálló képessége a szerszám él környezetében nő, ezért a deformáció is kisebb térfogatra terjed ki, csökkentve ezzel az érdességet. A görbe egyenlete a következő:

$$R_{pk} = -5.517 \cdot \rho + 6.097 + \frac{4.327}{\rho} \quad (19)$$

A korrelációs együttható $I=0.893$.

5.8 Anyagihiány a felületben

Az érdesség következtében a felületen bemélyedések vannak, amelyeket nem tölti ki az anyag. Ez az anyagihiány is bizonyos mértékben jellemzi a felületet az érdesség szempontjából.

Ennek az anyagihiánynak a meghatározása már régen felvetődött FLEMMING, FISCHER 1957 [62], amelynek meghatározására képlékeny pasztát alkalmaztak. Az Abbott-görbe ismeretében ez az anyagihiány most egyszerűen számítható, és összefüggésbe hozható az érdességi paraméterekkel is.

Az anyagihiány egyenértékű vastagsága az Abbott-görbe alapján három részből tevődik össze (lásd 4. táblázatban): az A_1 terület levonva az R_{pk} vastagságból, az R_k vastagság fele és az A_2 terület:

$$\Delta h_e = R_{pk} \cdot \left(1 - \frac{M_{r1}}{2}\right) + \frac{R_k}{2} + \frac{R_{vk} \cdot (1 - M_{r2})}{2} \quad [\mu\text{m}] \quad (20)$$

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

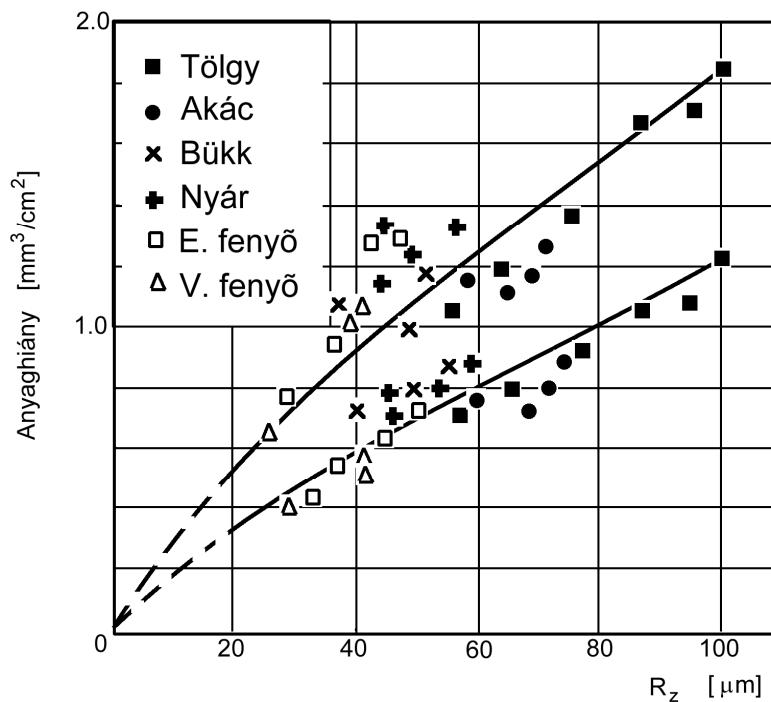
Az R_{pk} réteg elvileg elhanyagolható, mivel a kevés és vékony kiálló csúcs könnyen deformálódik, már kisebb terhelések hatására is. Ugyanakkor az R_{pk} réteg nem hanyagolható el a többi tag mellett, mivel M_{r1} kicsi. A közelebbi vizsgálatok azt mutatták, hogy a szórásért is alapvetően az R_{pk} érték a felelős. Például a 8.

táblázatban bemutatott hibák itt is jelentkeznek. Bármilyen rövid kitérés R_z értékében jelentkezik, de az Abbott-paraméterekben sokkal kisebb mértékben, mivel ott a görbe alatti terület számít.

Az egyes tagok átlagos hozzájárulása az anyagihiányhoz az alábbiak szerint adható meg:

$$\Delta h_e = 0.95 \cdot R_{pk} + 0.5 \cdot R_k + 0.09 \cdot R_{vk} \quad (21)$$

A kísérleti adatok feldolgozása alapján az összefüggést a 46. ábra szemlélteti, R_{pk} figyelembevételével és anélkül.



46. ábra. Az R_z paraméter és az ún. anyagihiány összefüggése

A görbék az alábbi egyszerű egyenletekkel írhatók le (az anyagihiány $LM=0.1 \Delta h_e$ [mm^3/cm^2])

$$LM_1 = 0.046 \cdot R_z^{0.8} \quad (22)$$

korrelációs együttható $I=0.914$;

$$LM_2 = 0.031 \cdot R_z^{0.8} \quad (23)$$

korrelációs együttható $I=0.927$.

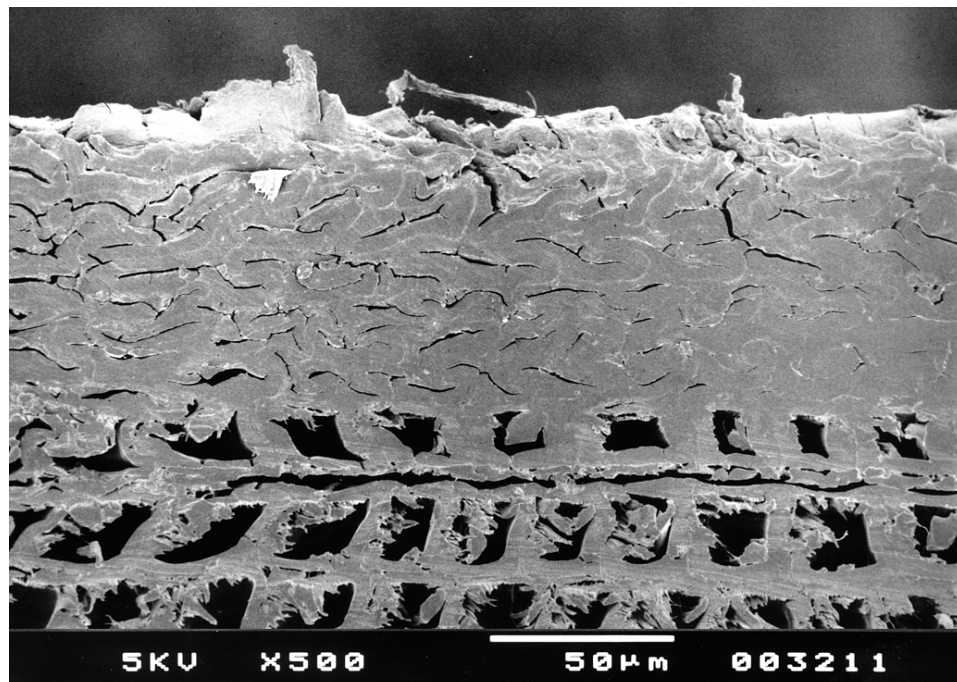
Mint látható, az R_{pk} értékét tartalmazó görbe szórása a nagyobb. Az anyagihiány, mint fogalom, felhasználható szintén a felületi minőség jellemzésére, mivel összefüggésbe hozható az R_z paraméterrel. Amint a következő pontban kiderül, az anyagihiány érzékenyen reagál a szerszámkopásra, például tölgy esetében sokkal érzékenyebben, mint az R_z érték. Ezért a további részletesebb vizsgálata indokolt a jövőben.

Az anyagiány görbe felhasználható a szükséges ragasztóanyag, vagy lakk mennyiségének tervezéséhez is.

5.9 A szerszámél kopás hatása a felületi érdességre

Az nagyon régen ismert, hogy a kopott szerszám rontja a felületi minőséget. Ugyanakkor nagyon kevés adat van arra nézve, hogy kopott szerszám használatakor milyen jelenségek játszódnak le az él közvetlen közelében és milyen is lesz ilyenkor a felület.

A megértési folyamatban fontos szerepet játszott az az elektromikroszkópos felvétel, amelyet FISCHER publikált 1993-ban [9] (47. ábra).

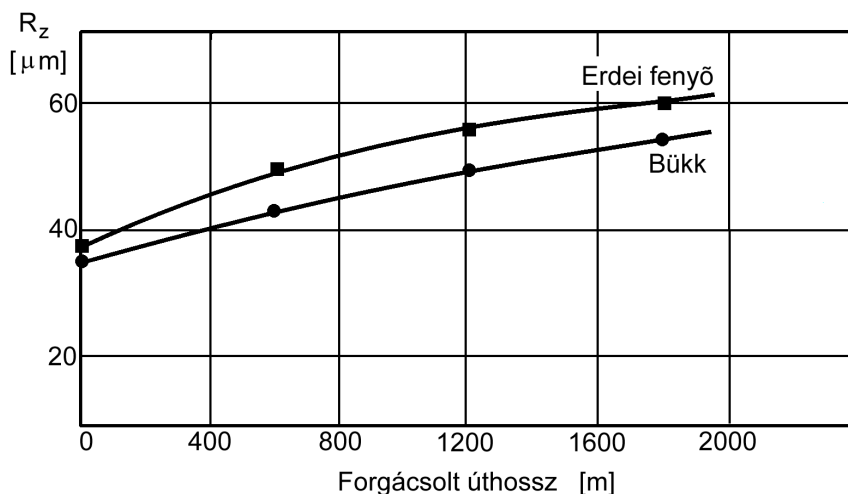


47. ábra. Tompa szerszám él által okozott felületi roncsolódás FISCHER, R. 1993. [9]

Az ábrából világossá vált, hogy a tompa él (kb. 50 μm sugarú) a sejtsorokat teljesen összenyomja. A teljesen összenyomott réteg körülbelül 1.6 szorosa a lekerekítési sugárnak, de a további sejtsorok függőleges falai is még valamilyen mértékben deformálódtak. Éles kés esetén ugyanakkor egyetlen egy sejtsor sem nyomódik össze.

A szerszám él kopásdinamikája is elég jól ismert. Az él rövidülése a forgácsolási úthossz függvényében szinte mindig parabolikus összefüggést mutat, legtöbbször közel áll a négyzetgyökös kifejezéshez.

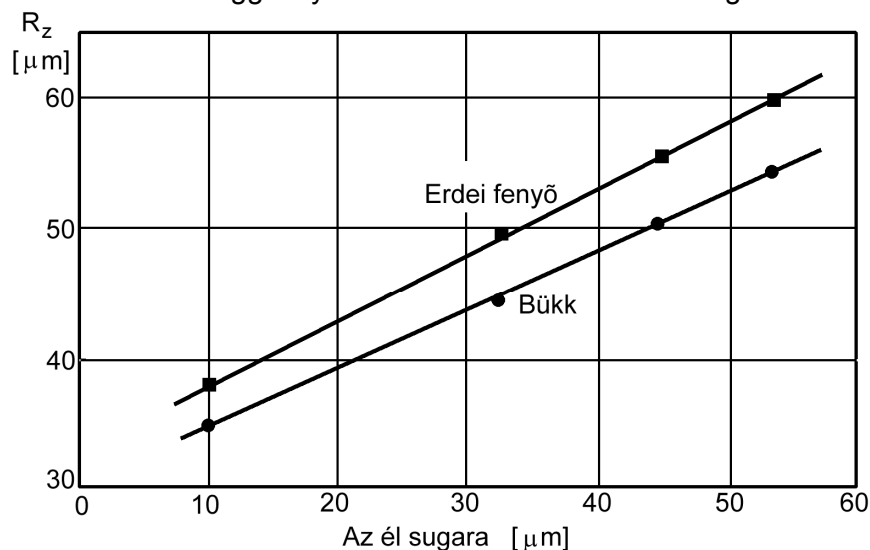
A kés koptatását MDF lap forgácsolásával végeztem és 0, 500, 1200 és 1800 m úthosszat követően mértem az érdesség változását erdei fenyő és bükk



mintadarabokon. Az eredményeket az 48. ábrán mutatom be.

48. ábra. A forgácsolt úthossz és az R_z paraméter összefüggése erdei fenyő és bükk fajok esetén

Mivel az elrövidülésből számolható ez egyenértékű lekerekítési sugár (az induló sugár $10 \mu\text{m}$), ezért ez utóbbi függvényében is ábrázoltam az érdesség változását (49. ábra).

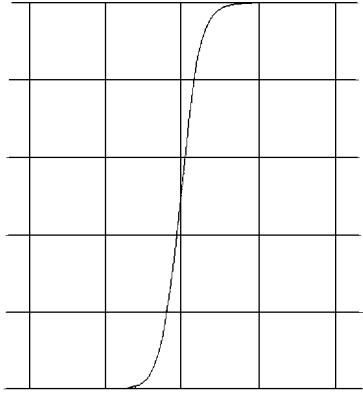
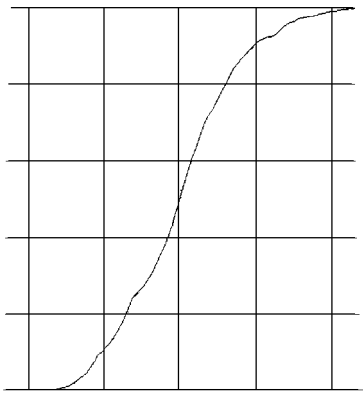
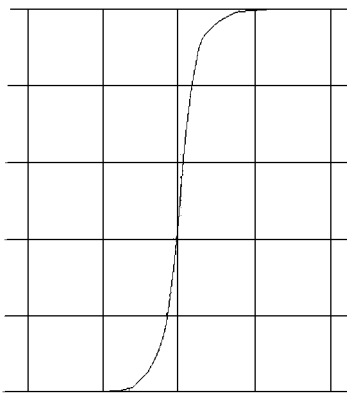
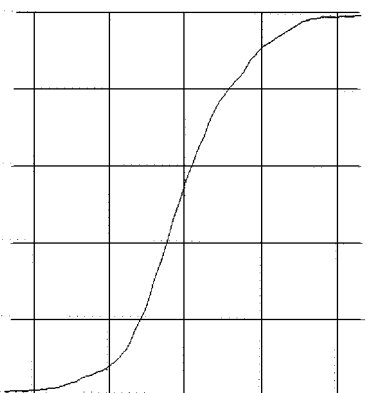


49. ábra. Az él lekerekítési sugara és az R_z paraméter összefüggése erdei fenyő és bükk fajok esetén

Az 51. ábrából látható, hogy az érdesség növekedése a lekerekítési sugár függvényében jó közelítéssel lineáris. A berajzolt egyes pontok 8-10 mérés átlagértékei.

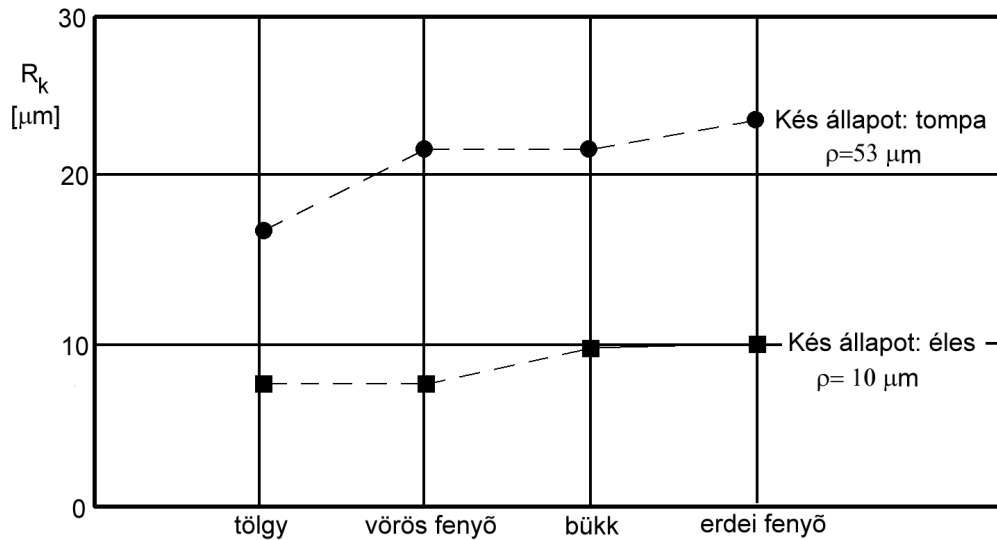
Az Abbott-görbéken szembeűnő volt, hogy annak alakja is megváltozott a szerszámkopás következtében. Ilyen összehasonlítást mutat a 12. táblázat, ahol éles és tompa (53 μm sugarú szerszám él) szerszámra vonatkozó Abbott-görbék láthatunk.

12. táblázat. Erdei fenyő és bükk Abbott-görbéje éles és kopott szerszámél esetén

| | |
|--|--|
| <p>Erdei fenyő Abbott-görbéje éles szerszámél esetén</p> <p>$R_a=3.52 \mu\text{m}$ $R_z=30.35 \mu\text{m}$ $R_{pk}=5.68 \mu\text{m}$ $R_k=9.35 \mu\text{m}$ $R_{vk}=6.87 \mu\text{m}$</p> | <p>Erdei fenyő Abbott-görbéje kopott szerszámél esetén</p> <p>$R_a=8.58 \mu\text{m}$ $R_z=60.94 \mu\text{m}$ $R_{pk}=5.92 \mu\text{m}$ $R_k=25.27 \mu\text{m}$ $R_{vk}=24.92 \mu\text{m}$</p> |
|  <p>The graph shows a sharp transition from a low surface roughness value to a high one, indicating a sharp cutting edge. The curve is steep and narrow.</p> |  <p>The graph shows a much broader and more gradual transition, indicating a dull cutting edge. The curve is wider and less steep.</p> |
| <p>Bükk Abbott-görbéje éles szerszámél esetén</p> <p>$R_a=3.95 \mu\text{m}$ $R_z=37.11 \mu\text{m}$ $R_{pk}=5.63 \mu\text{m}$ $R_k=10.22 \mu\text{m}$ $R_{vk}=10.96 \mu\text{m}$</p> | <p>Bükk Abbott-görbéje kopott szerszámél esetén</p> <p>$R_a=7.64 \mu\text{m}$ $R_z=55.10 \mu\text{m}$ $R_{pk}=7.71 \mu\text{m}$ $R_k=23.65 \mu\text{m}$ $R_{vk}=15.81 \mu\text{m}$</p> |
|  <p>The graph shows a sharp transition from a low surface roughness value to a high one, indicating a sharp cutting edge. The curve is steep and narrow.</p> |  <p>The graph shows a much broader and more gradual transition, indicating a dull cutting edge. The curve is wider and less steep.</p> |

Elsősorban a magrész R_k változása a szembeűlő, amelynek drasztikus növekedése az anyagiányt is növeli, de az R_{pk} értékek is a duplájára növekednek. A kiszámított anyagiány értéke 60-100 %-al nagyobbak az éles késhez viszonyítva!

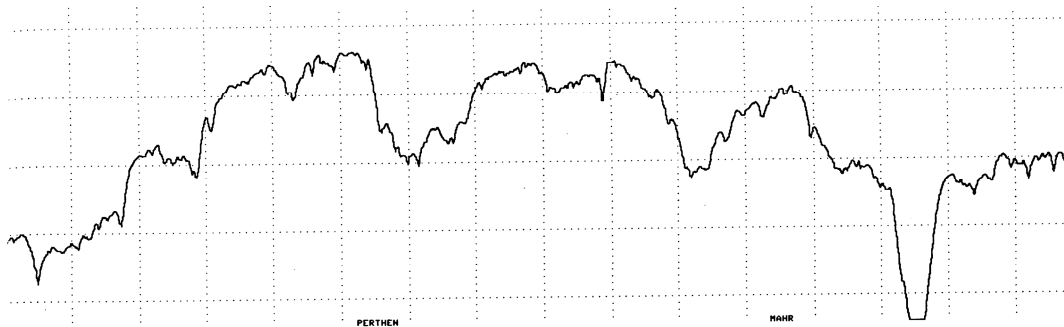
A tompa késsel további vizsgálatokat folytattam vörösfenyő és tölgy próbatesteken. A mérések lényegében hasonló eredményt szolgáltattak, az Abbott-görbék hasonlóan módosultak. Az R_k értékek növekedését a négy fafajra az 50. ábrán mutatom be. Az R_k



értékek gyakorlatilag minden esetben a duplájára növekedtek.

50. ábra. Egyes fafajok R_k értékének változása éles és tompa szerszám él hatására

Tölgy esetében még egy érdekes jelenség adódott. Az R_z értékek gyakorlatilag nem növekedtek az éles késhez viszonyítva, annak ellenére, hogy a felületen jelentős deformáció okozta hullámosság keletkezett (51. ábra).



51. ábra. Tölgy felület profilja kopott szerszámmal megmunkálva

A profilból a korábbi élesen kirajzolt edények zöme hiányzik. Ennek minden bizonnyal azaz oka, hogy a deformáció vízszintes komponense az edényeket jórészt betömi, ezzel a maximális tútkitérést csökkenti. A deformáció okozta felületi hullámosság fenyőknél is jelentkezett.

A bemutatott eredmények alapján általánosan megállapítható, hogy:

1. a kopott szerszám él jelentősen deformálja a felületet, azon sokszor deformáció okozta hullámosság keletkezik;
2. a kés lekerekítési sugara általában lineárisan növeli az érdességet;

3. az anyaghiány a felületben drasztikusan növekedik, elsősorban az R_k és R_{pk} növekedése következtében;
4. a felület minősége alapvetően nem az R_z érdesség növekedése miatt romlik, hanem a felületi réteg plasztikus deformációja következtében.

5.10 Az érdességi adatok szórása

A fa inhomogén póruseloszlása, különösen a nagyméretű edényeket tekintve, nem teszi lehetővé egyenletes érdesség elérését. Mivel az átvágott lyukak méreteloszlása alapvetően befolyásolja az érdességet, ezért a helyi érdesség az adott helyen átvágott lyukak méreteloszlásától függ.

A nagyszámú mérési adat feldolgozása alapján az alábbi általános következtetések tehetők:

1. Minél egyenletesebb a lyukak eloszlása az anyagban, annál kisebb szórás várható a felületi érdességben. Ilyen szempontból a gyűrűslukacsú fafajoknál (kőris, szil, tölgy, akác, dió) nagyobb szórás várható, mint a szórt likacsú fafajoknál.
2. A forgácsolásnak a száliránnyal bezárt szöge lokális érdesség növekedést okozhat attól függően, hogy az edények hol futnak ki a felszínre, és milyen szögben. Például tölgyfán lokálisan $10 \mu\text{m}$ körüli érdességet is lehetett mérni, amikor a nagy felületen a közepes érdesség $70 \mu\text{m}$ volt.
3. Vizsgáltam az érdesség (R_z) szórását egy megmunkált felületen, és négy lépcsős felületen úgy, hogy az adatokat együtt kezeltem (lásd 5.6 pont). Az utóbbi a rosszabb eset, amikor nagyobb szórás várható. Bizonyos közelítéssel ez utóbbi eset megfelel olyan forgácsolási irányznak, amikor az valamilyen szöget zár be a száliránnyal. Ebben a legrosszabb esetben a σ szórás és a medián viszonya $\sigma / \overline{R_z} = 0.12 - 0.15$ értékek között adódott. A kisebb értékek szisztematikusan a fenyőkre, míg a nagyobb értékek a lombos fajokra érvényesek. Ezt a megállapítást alátámasztja a 36. ábra, ahol a tölgyre vonatkozó átlagolt pontok a legnagyobb szórást a $40-70^\circ$ -os tartományban mutatják. Ugyanez az adat egy felületen vizsgálva kedvezőbb értéket adott $\sigma / \overline{R_z} = 0.07 - 0.1$ értékek között változott.
4. A 43. ábra alapján látható, hogy az R_a érdességi paraméter szoros korrelációt mutat az Abbott-görbe három összetevőjének összegével. Ez azzal magyarázható, hogy az R_a érték a valódi profil integrálásából adódik, és a valódi profil adja az Abbott-görbe összetevőit is. A szabványosan levágott alsó és felső csúcsok egyébként sem változtatnák meg lényegesen az integrál értékét. Az R_z értékben viszont benne vannak az Abbott-görbéből levágott csúcsok. Ezek a levágott csúcsok minden bizonnyal struktúra függőek, jelenleg inkább csak fajokhoz tudjuk őket kötni. Ez látható a 44. ábrán, ahol az R_z érték már nem egyértelmű függvénye az $(R_{pk}+R_k+R_{vk})$ összevont paraméternek. A valódi törvényszerűség meghatározásához minden bizonnyal egy olyan homogenitási tényező megalkotása vezet, amely a lyukak alakját, méretét és eloszlását le tudja írni, illetve figyelembe tudja venni a várható R_z érték szempontjából. Hogy ez egy egyfajta homogenitási probléma, azt az MDF görbéjének elhelyezkedése jelzi, amely felett

viszonylag homogén fenyők, majd az edénnyel rendelkező fajok helyezkednek el.

5. Az anyagiány görbe két változatában (46. ábra) is az R_{pk} érték véletlenszerű változása okozza a nagyobb mértékű szórást. A szóráshoz mindkét görbe esetén egyenlő mértékben járul hozzá az R_z változó bizonytalansága az előzőekben leírtak szerint. (Természetesen nem az egész R_z érték a bizonytalan, annak csak egy kis része, általában a felületi oldalon, ahol akár egy rátapadt vékony szál is megváltoztatja értékét.) További szórást okoz az anyagiány görbében a szabvány, illetve a szabványos mérés hibája. Az alsó anyagiányt (M_{r2}) háromszöggel közelíti, amely a nyárnál, de főleg a kőris és a tölgy esetén nem ad jó értéket. Az utóbbiaknál ez a területrészt kimondottan négyszögalakú.

5.11 Az üzemi mérések tapasztalatai

Mint korábban már leírtam, az üzemi mérések során ablakkeret elemek felületének simaságát határoztam meg. Az óránként kivett mintákon meghatároztam az évgűrűk elhelyezkedését, kifutását, a mérőszakaszba eső évgűrűk számát és korábbiakhoz hasonlóan felvettem az összes érdességi paramétert. A forgácsolási sebesség 51 m/s volt, a szerszámok körülbelül 8 órát dolgoztak, de közben 3 alkalommal jointingoltak.

Az előző tapasztalatok alapján várható volt, hogy általános törvényszerűségeket ilyen mérésekből nehéz találni. Az évgűrűk szélessége és elhelyezkedése a felületen teljesen véletlenszerű volt, a mérőszakaszba eső évgűrűk száma 2 és 11 között véletlenszerűen változott. A gyakori jointing pedig bizonyos értelemben újraélezésnek számít, hiszen megszüntetik vele a nagy lekerekítési sugarat, amely a felszín deformációját okozza.

A mérési eredmények kiértékelése azt mutatta, hogy az időbeni változások a szórás határain belül maradnak. Ez vonatkozik az R_k , R_k/R_z és $R_p/(R_z/2)$ paraméterek vizsgálatára is. Ez azt jelenti, hogy a vállalat a kialakított technológiával, a szórás határain belül, állandó minőséget tud biztosítani két újraélezés, illetve lapkacsere között.

Egy egy mérési sorozat (28 mérés) átlagát és szórását meghatározva a következő értékeket kaptam: $\overline{R_z} = 30 \mu\text{m}$ és $\sigma = \pm 4.7 \mu\text{m}$, amelyekből $\sigma / \overline{R_z} = 0.156$.

A fenti átlagos R_z érték megfelel az általam részletesen vizsgált fenyőfélék átlag R_z értékének (lásd 46. ábrát). Ez igazolja azt az állítást, hogy a struktúra megszabja az elérhető felületi minőséget.

A kapott σ szórás relatív értéke nagyobb, mint amit kísérleteimmel meghatároztam (5.10 fejezet). Ez érthető, ugyanis az üzemi méréseknél további befolyásoló tényezők jelentek meg, amelyeket én korábban kiszűrtem. Ezek az évgűrűk szélessége és elhelyezkedésük a létrehozott felülethez viszonyítva. A kapott relatív szórás megfelel a sokkal nagyobb inhomogenitású tölgy relatív szórásának, de állandó évgűrű elhelyezkedés mellett.

5.12 Az érdességi paraméterek alkalmazhatósága

A meglévő érdességi paraméterek közül a faipar eddig alapvetően az R_z érdességi paramétert használta. Más paraméterek alkalmazására eddig megalapozott javaslat nem történt.

Az elvégzett vizsgálataim azt mutatják, hogy az eredő érdesség egy sor definit paraméter (például forgácsolási sebesség, a szerszám élessége, a fa anatómiai tulajdonságai), és több véletlen paraméter (például a fa anatómiájának megjelenése a felületen, repedések, inhomogenitás a mechanikai és anatómiai tulajdonságokban) együttes hatásaként alakul ki. Az érdességi profil a mélység függvényében különböző lehet, és egyszerűbben kezelhető összefüggéssel, nem írható le az egységes kezelés szempontjából.

Az optimális profillal kapcsolatos igényeket sem fogalmazták meg eddig, inkább csak általánosságok (például minél simább felület) fogalmazódtak meg. Ez természetesen nem véletlen, hiszen a felület erős kölcsönhatásban van például egy sor optikai tulajdonsággal, és ezen kölcsönhatások vizsgálata még el sem kezdődött. Valószínűsíthető, hogy az esztétikai és technológiai követelmények sem esnek egybe, így más felület optimális esztétikai, és más felület szükséges technológiai szempontból.

A fentiek alapján valószínűsíthető, hogy a felület egyetlen paraméterrel a közeljövőben minden szempontból nem lesz jellemezhető.

Az elvégzett vizsgálatok alapján az a véleményem, hogy alapparaméterként továbbra is az R_z paraméter a legmegfelelőbb. Ugyanakkor a többi paraméter nagyobb figyelmet érdemel az eddigieknél, mivel azok jelentős kiegészítő információval rendelkeznek. Ezeket a kiegészítő információkat az alábbiakban foglalom össze:

1. R_{pk} paraméter. Az R_{pk} paraméter a faanyag sűrűségének növekedésekor csökken, éles szerszám esetén a forgácsolási sebesség változására nem érzékeny. Ugyanakkor tompa szerszám esetén minden esetben lényegesen növekedett, általában közel kétszeresére, de tölgy esetében háromszorosára.
2. R_k paraméter. Az R_k paraméter éles szerszám alkalmazása esetén az R_z érték 10-30 %-át teszi ki úgy, hogy relatív értéke a tölgytől a fenyők felé növekszik (lásd az 50. ábrát). Kopott szerszám esetén értéke szisztematikusan a duplájára növekszik ($\rho=53 \mu\text{m}$). Ezért növekedése a szokásos értékhez viszonyítva a kés kopásának legbiztosabb jele.
3. R_{vk} paraméter. Az R_{vk} paraméter éles szerszám esetén elsősorban az anatómia függvénye és relatív értéke (R_z -hez viszonyítva) a tölgytől a fenyők felé az edényméretük csökkenésével fokozatosan csökken (lásd a 7. és 10. táblázatot). Az R_{vk} paraméter a vizsgált erdei fenyő és bükk esetén a forgácsolási sebességtől is lényegesen függ. Tehát azonos fafaj esetén, az R_{vk} paraméter növekedése az elégtelen forgácsolási sebességre is utalhat. Tompa szerszám esetén az R_{vk} értéke nagyon függ a felületi rétegek deformációjától, ezért értéke tompa szerszámra különbözőképpen viselkedhet. Bükk és erdei fenyőnél növekedett, vörösfenyőnél kissé csökkent, míg tölgynél lényegesen csökkent.

4. *Anyaghiány.* A kopott szerszámra vonatkozó anyaghiány értéke minden esetben 60-100 %-kal meghaladták az éles szerszámra vonatkozó értéket, ezért az anyaghiány szintén érzékeny indikátora a szerszám kopottságának.
5. *$R_p/(R_z/2)$ paraméter viszony.* Ez a paraméter viszony vizsgált esetekben egyértelműen változott a forgácsolási irány a fa szálirányához viszonyított szögével. Ennek a paraméternek részletesebb vizsgálata az összes fafajra vonatkozóan azt mutatta, hogy az minden bizonnyal az anyag struktúrájának homogenitását is jellemzi. A finom és egyenletes póruseloszlású nyugati tujára ez az érték 0.95, míg a tölgyre 0.43. Az akác, bükk és kőris esetén 0.55, tehát kissé növekszik a tölgyhöz viszonyítva. A fenyőkre (erdeifenyő, lucfenyő, vörösfenyő) 0.66-0.75 közötti értékek adódtak.

A fentiek alapján minden esetben célszerű felvenni az Abbott-görbét és paramétereit is. Ez utóbbiak vizsgálata lehetővé teszi, az előzőekben felsorolt összefüggések segítségével, a zavaró tényezők felismerését és kiküszöbölését. Ugyanakkor lehetőség van az anomáliák (lásd 5.2 pontban) felismerésére, amelyek a felületi minőséget lényegében nem rontják, a kapott nagyobb R_z érték ellenére sem.

6 TÉZISEK

Az elvégzett vizsgálatok alapján az alábbi tudományos megállapításokat teszem:

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 ΔF struktúra számot:

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

ahol:

- $n_1 \dots n_4$ - az edények, illetve tracheidák és rostok száma [db/cm²];
- $d_1 \dots d_4$ - közepes belső átmérők;
- a, b - korai, illetve a kései pászta aránya.

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

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

ahol: ΔF mm²/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:

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

ahol az 'A' fafajra jellemző állandó, amely azonban szintén kifejezhető az Abbott-görbe egyes paramétereivel (17. 18. egyenlet).

5. Kimutattam, hogy a térfogati sűrűség csak abban az esetben lehet meghatározható paraméter az érdesség szempontjából, ha a fákban 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 anyagihiány egyenértékű vastagsága Δh_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 egyenetlenség magasság R_z érdességi paraméterrel (22. 23. egyenlet).

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).

7 IRODALOMJEGYZÉK

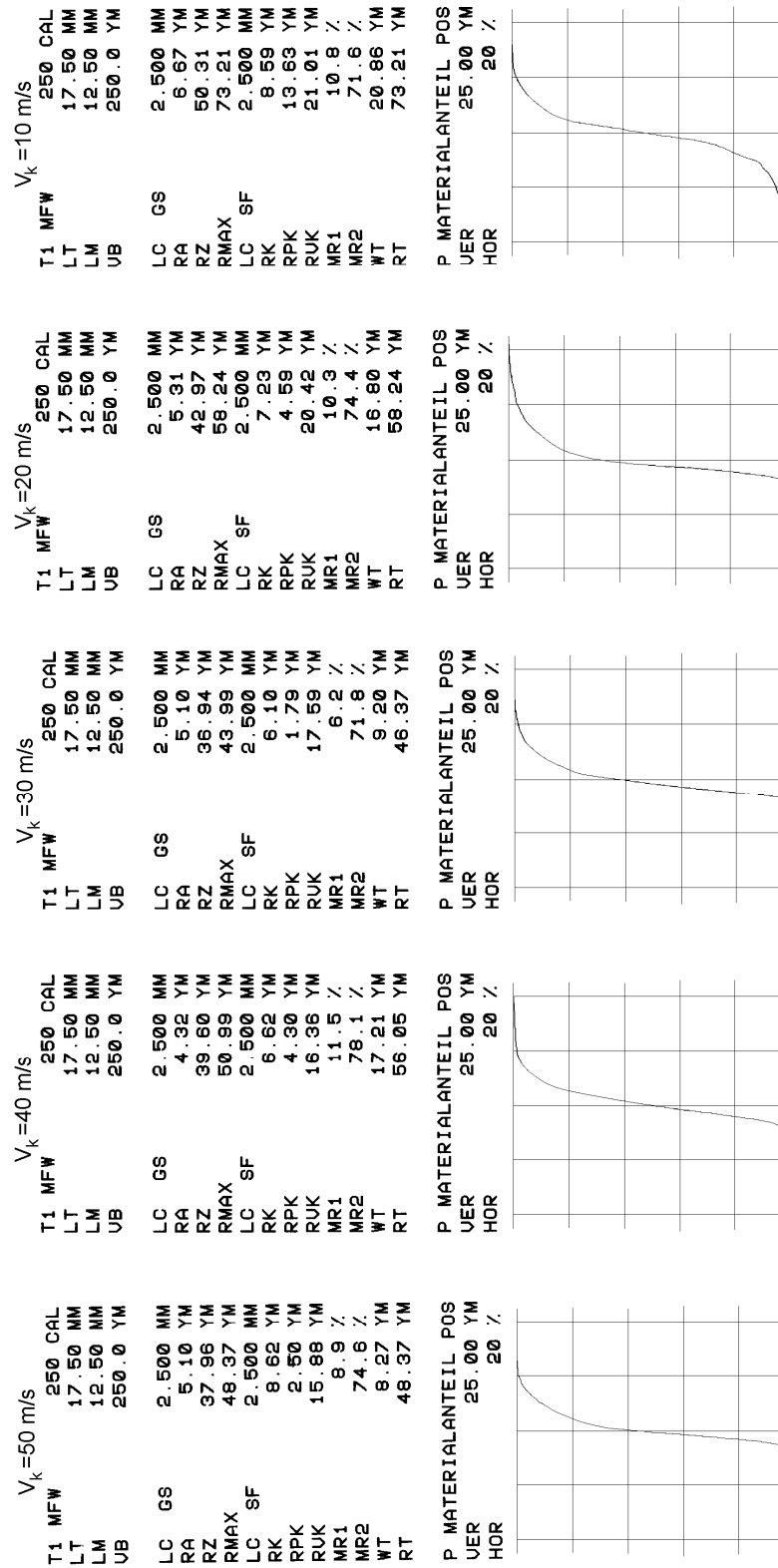
- (1) AXELSSON, B. O. M.-GRUNDBERG, S. A.-GRÖNLUND, J. A.: *The use of gray scale images when evaluating disturbances in cutting force due to changes in wood structure and tool shape*; Holz als Roh- und Werkstoff, 1991. pp. 491-494.
- (2) DEPPE, H. J.-SCHMIDT, K.: *Oberflächenqualität von beschichteten Holzwerkstoffen*; HOB, 1996. 11. S. 66-68.
- (3) DÉRY, J.: *A forgácsolás- és teljesítményigény vizsgálata rönkhasító szalagfűrészgépeknél*; 1984. Doktori értekezés
- (4) DEVANTIER, B.-EMMLER, R.: *Prüfmethoden zur objektiven Bewertung der Rauigkeit und Welligkeit von Holzwerkstoffen*; Abschlussbericht, 1996.
- (5) DONALDSON, L. A.-LAUSBERG, M. J. F.: *Comparison of conventional transmitted light and confocal microscopy for measuring wood cell dimensions by image analysis*; IAWA Journal, 1998. 19(3). pp. 321-336.
- (6) ESTRICH, J.: *Maschinenwerkzeuge für die Holzbearbeitung*; 1992. Moderne Industrie Verlag Landsberg
- (7) FAUST, T. D.: *Real time measurement of veneer surface roughness by image analysis*; Forest Products Journal, 1987. 6. Pp. 34-40.
- (8) FEINPRÜF PERTHEN GmbH.: *Perthometer S3P Betriebsanleitung*; 1993. Feinprüf Perthen GmbH Göttingen
- (9) FISCHER, R.-SCHUSTER, C.: *Zur Qualitätsentstehung spanend erzeugter Holzoberflächen*; 1993. Mitteilung TU Dresden.
- (10) FISCHER, R.-TRÖGER, J.-HERATH, M.: *Untersuchung zum Einfluss von Gestaltfehlern rotierender Holzbearbeitungswerkzeuge auf Verschleiss und Qualität*; Holztechnologie, 1977. 18. S. 224-232.
- (11) FRISCHHERZ; DAX; GUNDELFINGER; HÄFFNER; ITSCHNER; KOTSCH; STANICZEK: *Fémtechnológiai táblázatok*; B + V Lap- és Könyvkiadó Kft. 1997.
- (12) HARGITAI, L.-ZOMBORI, I.: *A fűrészelt felületek felületi finomságának javítása*; Kutatási Zárójelentés, 1989.
- (13) HEIMBRAND, E.: *Spanendes Bearbeiten von Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffen*; VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- (14) HEISEL, U.-FISCHER, A.: *Bessere Oberflächenqualität durch Optimierung des dynamischen Maschinenverhaltens*; HOB, 1992. 4. S. 16-20.
- (15) HEISEL, U.-FISCHER, A.-MAIER, V.: *Beurteilung von Oberflächen durch Prozesssimulation*; HOB, 1992. 5. S. 56-62.
- (16) HEISEL, U.-KRONDORFER, H.: *Oberflächenqualität beim Umfangfräsen*; HOB, 1996. 7/8. S. 59-62.
- (17) HEISEL, U.-KRONDORFER, H.: *Oberflächenverfahren zur Schwingungsanalyse*; HOB, 1996. 9. S. 85-92.
- (18) HEISEL, U.-KRONDORFER, H.: *Ursachen dynamisch bedingter Oberflächenfehler schneller erkennen*; HOB, 1996. 10. S. 76-81.
- (19) HEISEL, U.-TRÖGER, J.: *Feinstbearbeitung durch Schleifen und Thermoglätten*; HOB, 1991. 09. S. 41-43.
- (20) HEISEL, U.-TRÖGER, J.: *Quantitativ hochwertige Oberflächen durch Stirnplanfräsen*; HOB, 1993. 05. S. 80-88.
- (21) HEISEL, U.-TRÖGER, J.-MÜLLNER, R.: *Optimierung des Stirnplanfräsverfahrens*; HOB, 1997. 4. S. 95-99.
- (22) HEISEL, U.-TRÖGER, J.-FISCHER, A.-STEINHOFF, R.: *Berührungsloses Meßverfahren zur Beurteilung der Struktur bearbeiteter Holzoberflächen*; HOB, 1991. 11. S. 18-22.
- (23) HEISEL, U.-WALZ, J.: *Statische und dynamische Einflüsse der Maschine beeinflussen Oberflächenqualität*; HOB, 1996. 11. S. 56-65.
- (24) HESSELBACH, J.: *3D-Erfassung und Bewerten von Massivholzoberflächen*; Mitteilung TU. Braunschweig, 1999.

- (25) HIZIROGLU, S.: *Surface roughness analysis of wood composites*; Forest Products Journal, 1996. No. 7/8, pp. 67-42.
- (26) HOFFMEISTER, H. W.-KISSELBACH, A.-SCHADOFFSKY, O.: *Hochgeschwindigkeits-Profilfräsen*; HOB, 1997. 4. S. 88-94.
- (27) HOFFMEISTER, H. W.-GRÜBLER, T.: *In-Prozeßmessung der Messerschlagsweite gehobelter Massivholzoberflächen*; HOB, 1999. 5. S. 200-205.
- (28) HOFFMEISTER, H. W.-RIEGEL, A.: *Oberflächenfinish mit rotierenden Schleifmittelstreifen*; HOB, 1998. 2. S. 80-83.
- (29) IFJÚ, G.-PESZLEN, I.: *Sztereológia a kvantitatív faanatómiában*; Faipar, 1994/2. o. 17-21.
- (30) IFJÚ, G.: *Quantitative wood anatomy certain geometrical-statistical relationships*; Wood and Fiber Science, 1983. 15(4). pp. 326-327.
- (31) IFJÚ, G.-MCLAIN, T. E.: *Quantitative wood anatomy based on stereological methods and its use for predicting paper properties*; TAPPI Research and Development Division Conference, 1982. pp. 15-28.
- (32) JÄKEL, S.: *OCRAM-A computer program for measuring dimensions of tracheids on conifers*; *Dendrochronologia*, 1996. 14. pp. 265-267.
- (33) KISSELBACH, A.-SCHADOFFSKY, O.: *Gefräste Oberflächen als Einganggröße für die Schleifbearbeitung und den Lackauftrag*; Ein Seminar für Holz- und Möbelindustrie; 1996. S. 3.1-3.18.
- (34) KOLLMANN, F.: *Poren und Porigkeit in Hölzern*; Holz als Roh und Werkstoff, 1987. 45. S. 1-9.
- (35) LEICA: *Bildverarbeitungs- und Analysesystem Quantimet*; Leica Cambridge Ltd, 1992.
- (36) LEUCO INTERNATIONAL: *Problemlösung bei Verschleiss*
- (37) LUGOSI, A.: *Faforgácsolás*; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- (38) LUNDBERG, I. A. S.-PORENKIEWICZ, B.: *Studies of non-contact methods for roughness measurements on wood surfaces*; Holz als Roh- und Werkstoff, 1995. pp. 309-314.
- (39) MANG, W.: *Zerspannunguntersuchungen über die Abnutzung von Fräuserschneiden beim Gleich- und Gegenlaufräsen*; 1958. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, Stuttgart
- (40) MICHAEL WEINIG AG.: *Alles über Werkzeug*
- (41) MOLNÁR, S.-VARGA, F.: *Faanyagismerettan*, 1998. Egyetemi jegyzet
- (42) PAHLITZSCH, G.-DZIOBEK, K.: *Untersuchungen über das Abstumpfungsverhalten eines Schneidzahn*; Holz als Roh- und Werkstoff, 1968. 05. S. 162-170.
- (43) PULI, V.-DIETZ, H. H.-TRÖGER, J.: *Hitzdrahtschneiden als Alternative?*; HOB, 1995. 12. S. 1594-1597.
- (44) QUIRK, J. T.: *Cell-wall density of Douglas-fir by two optometric methods*; Wood and Fiber Science, 1984. 0.4. pp. 224-235.
- (45) QUIRK, J. T.: *Dot-Grid Integreting Eyepiece: Two Sampling Techniques for Estimating Cell Wall Areas*; Wood and Fiber Science, 1975. 10. pp. 88-91.
- (46) QUIRK, J. T.-SMITH, D.: *Comparison of Dual Linear and Dot-Grid Eyepiece Methods for Estimating Wood Properties of Douglas-Fir*; Wood and Fiber Science, 1975. 10. pp. 92-96.
- (47) RAATZ, C.: *Verschleisserkennung beim Fräsen*; HOB, 1998. 7/8. S. 46-48.
- (48) SALJE, E.: *Wirtschaftlichkeitsfragen und Qualitätsmerkmale bei der Holzbearbeitung*; Holz als Roh- und Werkstoff, 1984. 42. S. 161-167.
- (49) SALJE, E.-DUBENKROPP, G.: *Das Kantenfräsen von Holzwerkstoffplatten*; HOB, 1983. 8. S. 188-191.
- (50) SANDER, M.: *Oberflächenmesstechnik für den Praktiker*, 1993. 2. Auflage

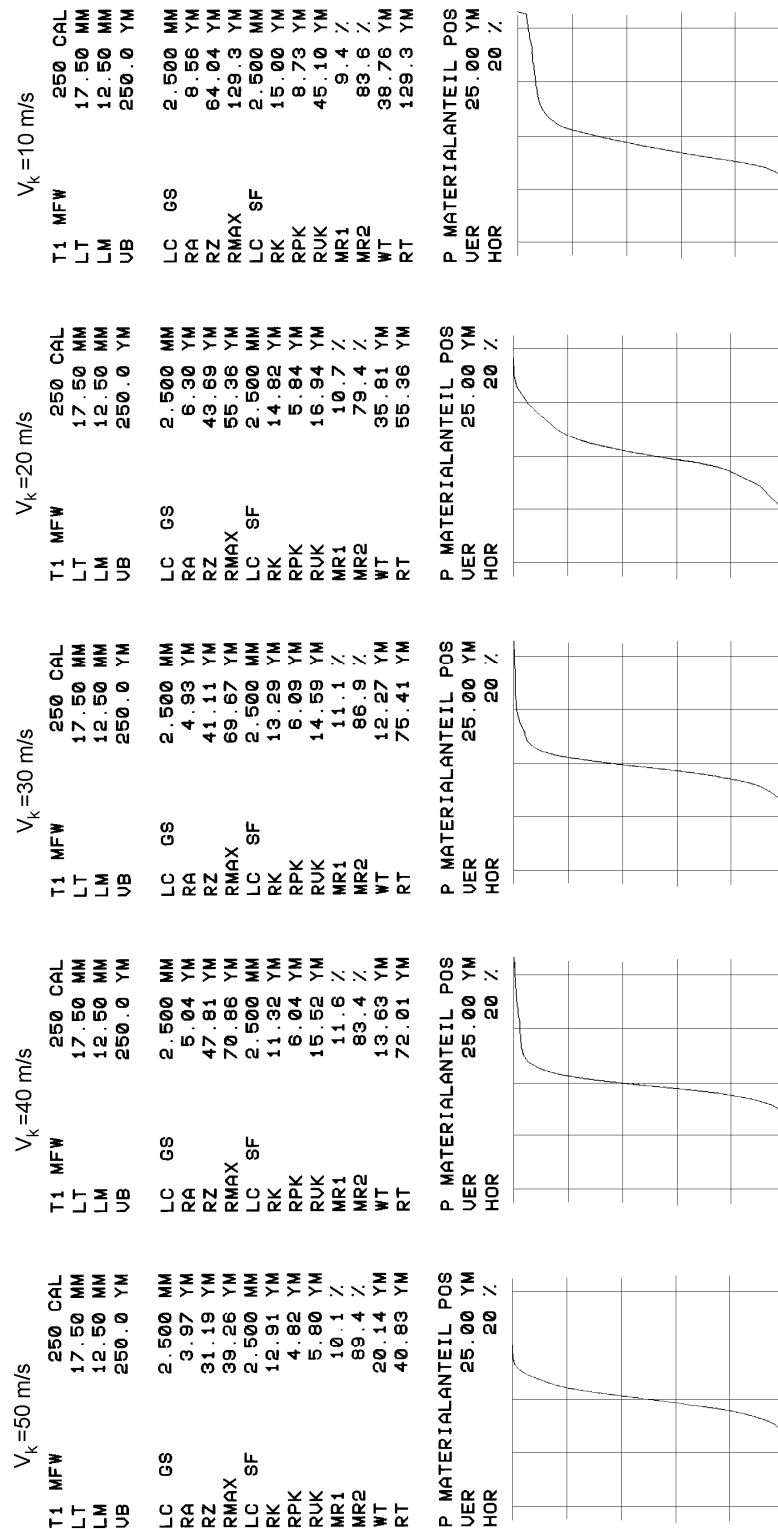
-
- (51) SCHADOFFSKY, O.: *Objektive Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenqualitäten*; Ein Seminar für Holz- und Möbelindustrie; 1996. S. 2.1-2.13.
- (52) SCHNEIDER, A.-WAGNER, L.: *Bestimmung der Porengrößenverteilung in Holz mit dem Quecksilber-Porosimeter*, Holz als Roh und Werkstoff, 1974. 32. S. 216-224.
- (53) SITKEI, GY.: *A faipari műveletek elmélete*; 1994. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft.
- (54) SITKEI, GY.: *Theorie des Spanens von Holz*; 1990. No. 1. Acta Fac. Ligniensi Sopron.
- (55) SITKEI, GY.: *Zusammenhang zwischen Werkstückschwingung und Oberflächengüte bei der Holzbearbeitung*; 1985. Acta Fac. Ligniensi Sopron.
- (56) TRÖGER, J.-LANG, M.: *Hobelfräsen mit vermindertem Wellenschlag*; HOB, 1990. 11. S. 43-50.
- (57) WESTKÄMPER, E.-RIEGEL, A.: *Qualitätskriterien für feingehobelte Holzoberflächen*; Holz als Roh- und Werkstoff, 1993. S. 27-30.
- (58) WESTKÄMPER, E.-RIEGEL, A.-DREYER, K. P.: *Systematisches Vorgehen bei der Entwicklung von Prüftechniken am Beispiel der Rauheitsmessung*; Hob, 1992. 10. S. 52-54.
- (59) WESTKÄMPER, E.-SCHADOFFSKY, O.: *Oberflächentopographie von Massivholz Teil 1. 2.*; Hob, 1995. 3. S. 74-78., 1995. 4. S. 50-54.
- (60) WIMMER, R.: *Beziehungen zwischen Holzstruktur und Holzeigenschaften bei Kiefer (Pinus sylvestris L.) im Nahbereich eines Fluoremittenten*; Dissertationen der Universität für Bodenkultur in Wien, 1991.
- (61) WIMMER, R.: *Intra-Annual cellular characteristics and their implications for modelling softwood density*; Wood and Fiber Science, 1995. 27(4). pp. 413-420.
- (62) FLEMMING, A.-FISCHER, R.: *Zusammenhänge zwischen Vorschubgeschwindigkeit und Schnittgüte beim Schneiden mit Gattersägen*; Wissenschaftliche Zeitschrift TH Dresden, 1957/58. S. 513-521.
- (63) LUKÁCS, O.: *Matematikai statisztika*; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.

8 MELLÉKLET

8.1 Kivonat a forgácsolási sebesség hatásának mérési eredményeiből

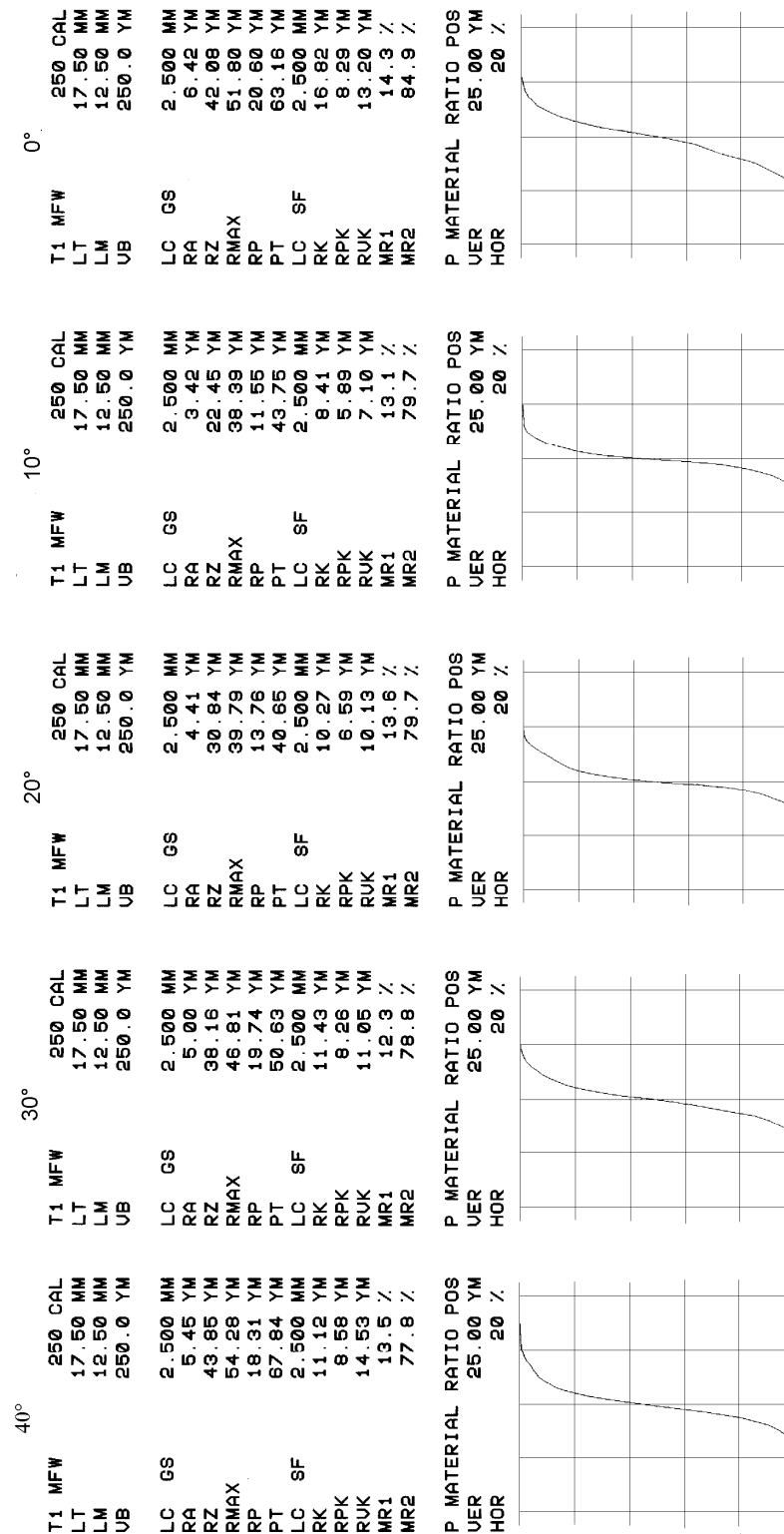
Fafaj: bükk (a kerületi sebesség lépcsők (v_k): 10 m/s; 20 m/s; 30 m/s; 40 m/s; 50 m/s.)

Fafaj: erdei fenyő (a kerületi sebesség lépcsők (v_k): 10 m/s; 20m/s; 30 m/s; 40 m/s; 50 m/s.)



8.2 Kivonat faanyag szá lirány hatásának mérési eredményeiből

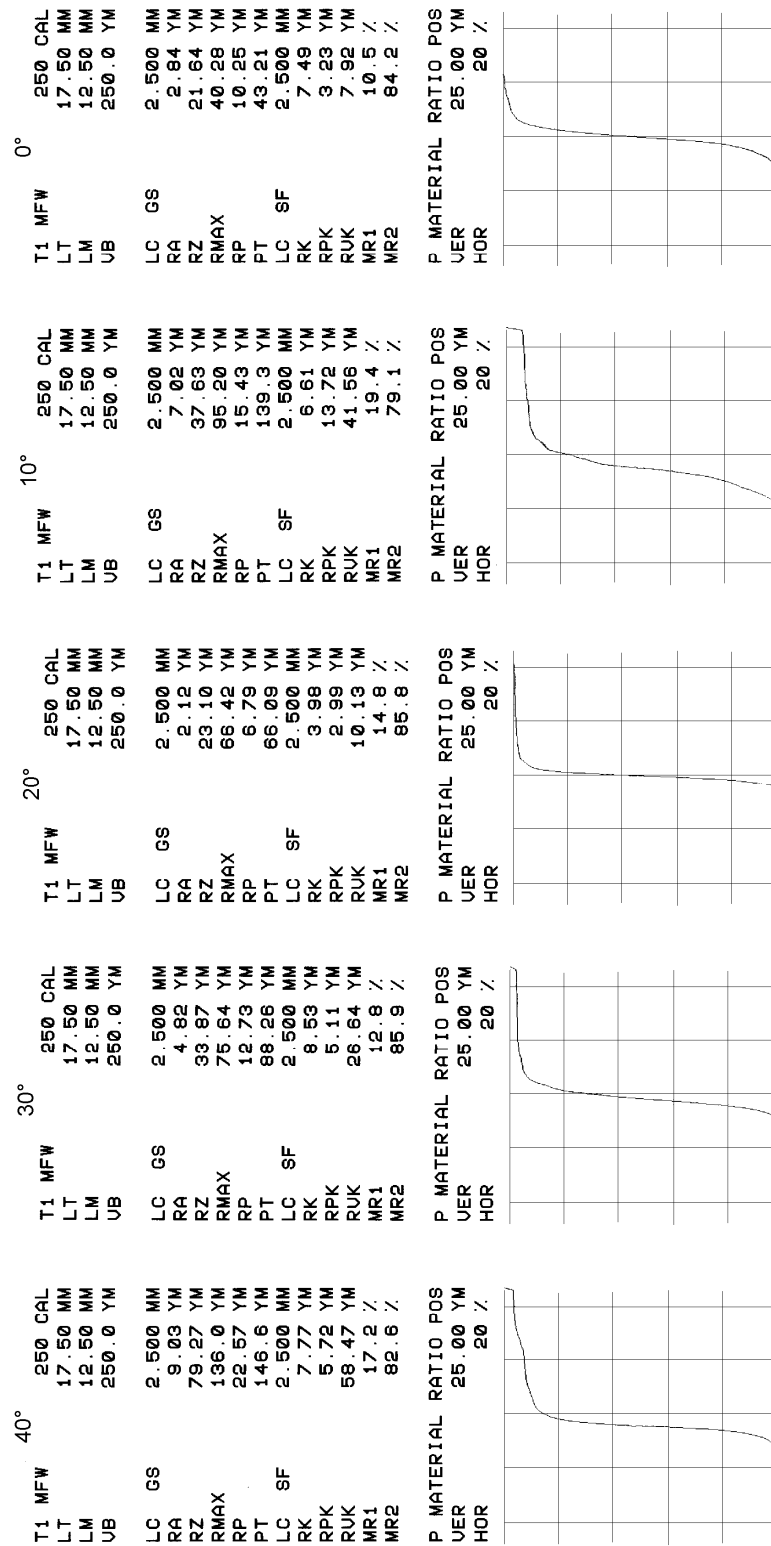
Fafaj: Erdei fenyő (0°-40°)



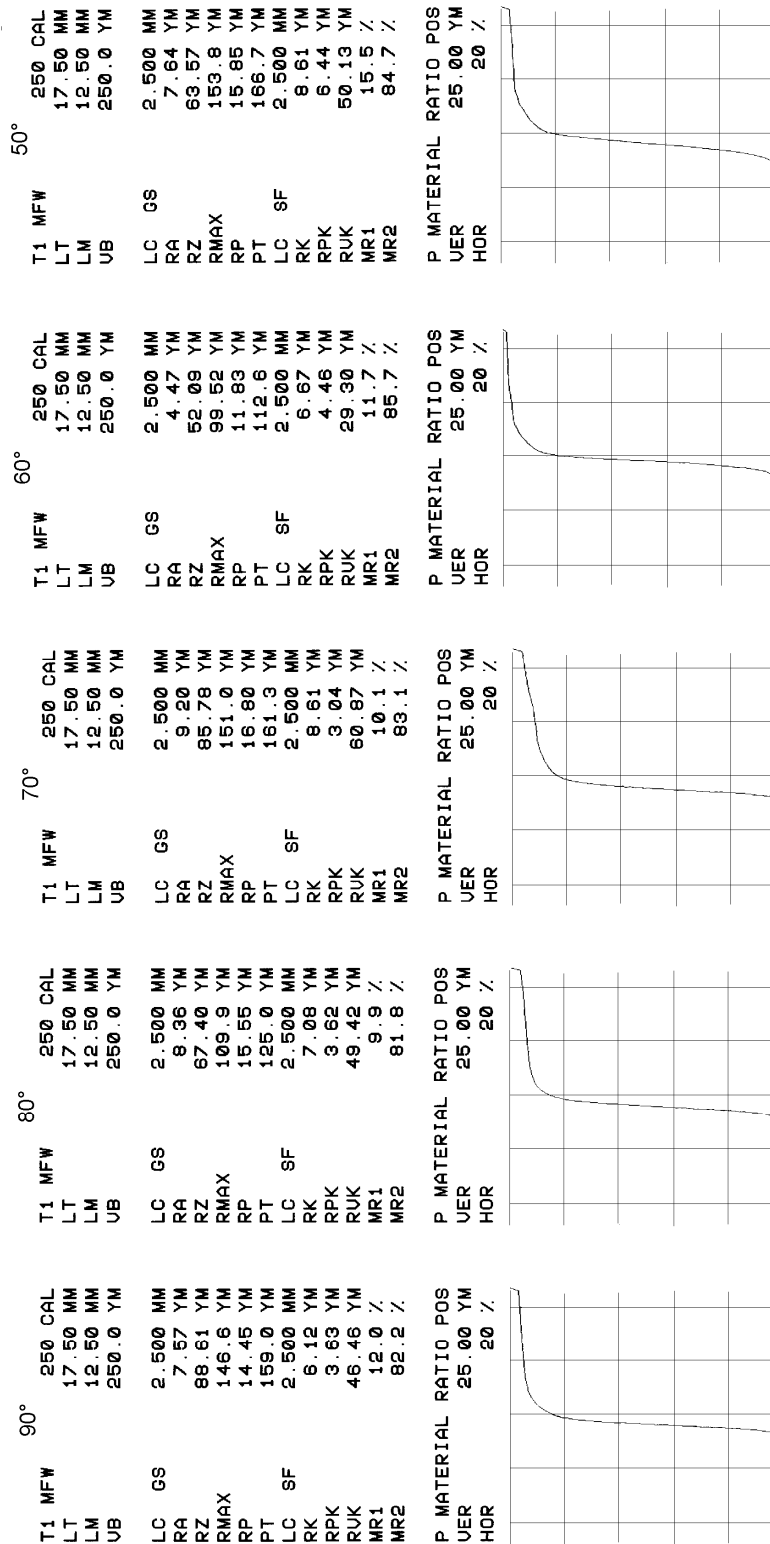
Fafaj: Erdei fenyő (50°-90°)

| Angle | T1 MFW | 250 CAL | 17.50 MM | 12.50 MM | 250.0 YM | LC GS | RA | RZ | RMAX | RP | PT | LC SF | RK | RPK | RUK | MR1 | MR2 | P MATERIAL RATIO POS | UER | HOR |
|-------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|--------|----------------------|----------|------|
| 50° | | | | | | 2.500 MM | 6.26 YM | 46.65 YM | 52.75 YM | 19.94 YM | 55.34 YM | 2.500 MM | 13.67 YM | 8.10 YM | 14.37 YM | 13.2 % | 77.5 % | | 25.00 YM | 20 % |
| 60° | | | | | | 2.500 MM | 5.05 YM | 42.47 YM | 46.71 YM | 19.94 YM | 55.82 YM | 2.500 MM | 10.38 YM | 9.40 YM | 11.69 YM | 14.2 % | 77.6 % | | 25.00 YM | 20 % |
| 70° | | | | | | 2.500 MM | 4.23 YM | 39.16 YM | 41.63 YM | 18.19 YM | 56.23 YM | 2.500 MM | 9.46 YM | 8.22 YM | 9.52 YM | 14.4 % | 82.3 % | | 25.00 YM | 20 % |
| 80° | | | | | | 2.500 MM | 3.56 YM | 34.04 YM | 38.94 YM | 14.51 YM | 39.00 YM | 2.500 MM | 8.59 YM | 7.34 YM | 7.83 YM | 13.8 % | 84.8 % | | 25.00 YM | 20 % |
| 90° | | | | | | 2.500 MM | 4.03 YM | 36.83 YM | 53.57 YM | 14.43 YM | 55.10 YM | 2.500 MM | 9.20 YM | 6.10 YM | 10.56 YM | 9.7 % | 80.5 % | | 25.00 YM | 20 % |

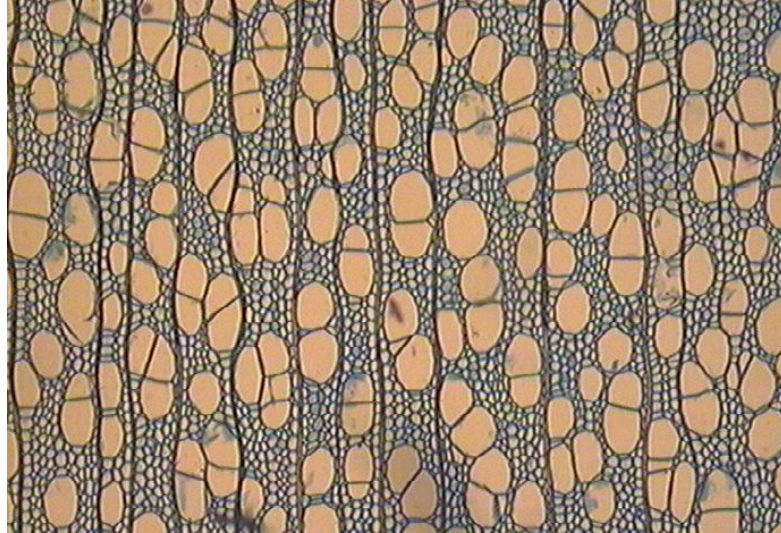
Fafaj: Tölgy (0°-40°)



Fafaj: Tölgy (50°-90°)



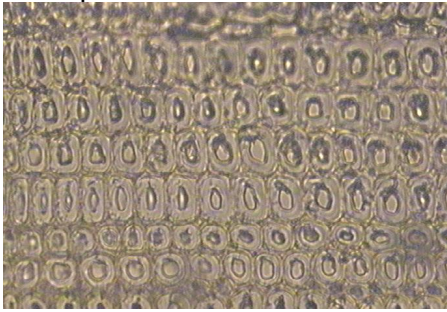
8.3 Kivonat a fafajok belső pórusméret eloszlásának mérési eredményeiből



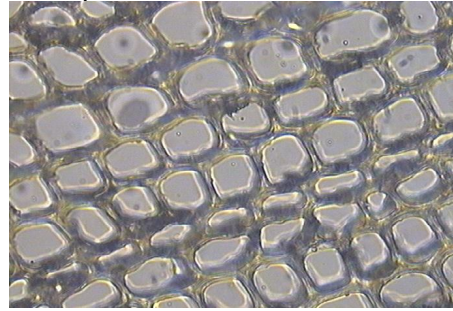
Nyár korai pászta

8.3.1 Erdei fenyő

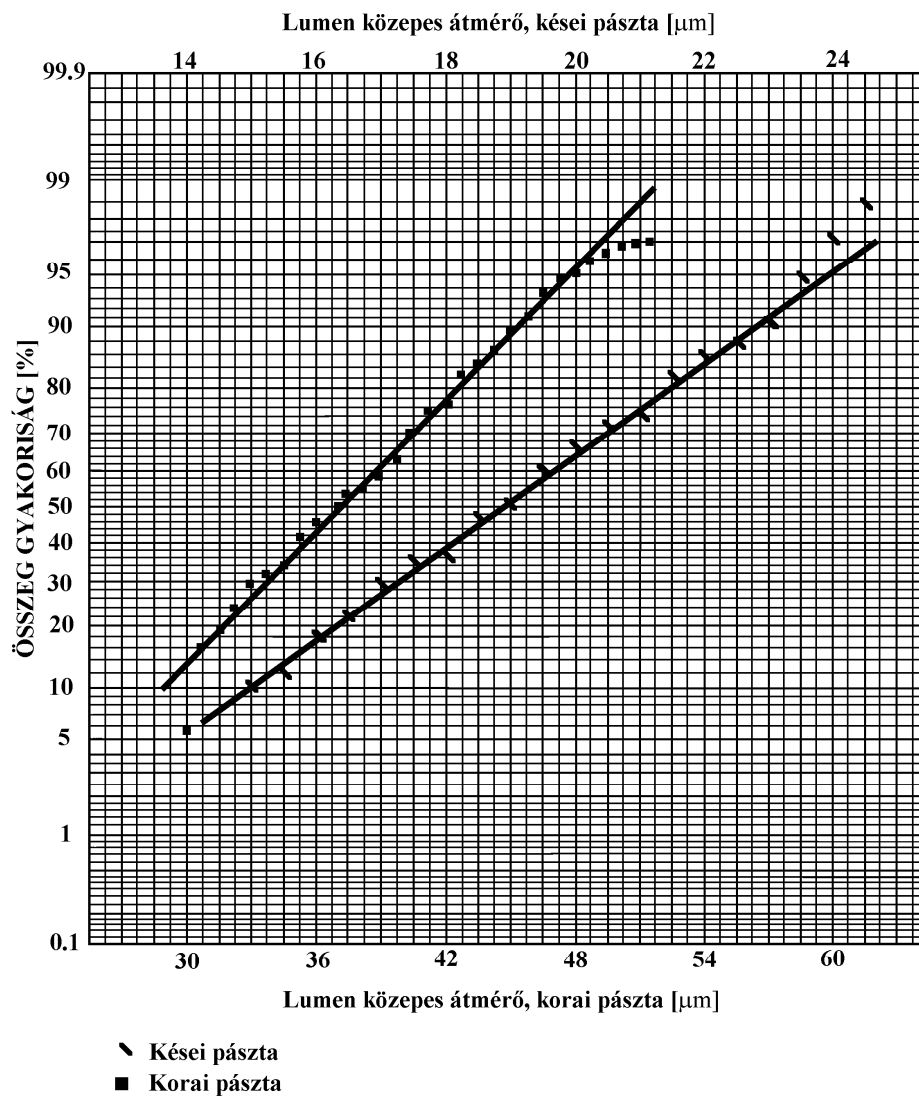
kései pászta



korai pászta



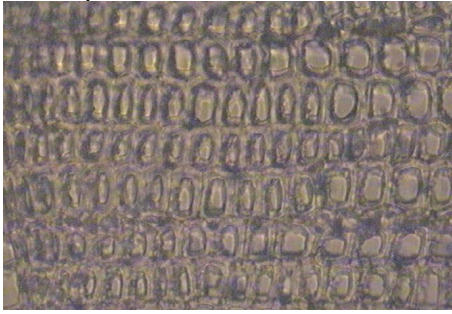
A mérési eredmények grafikus ábrázolása:



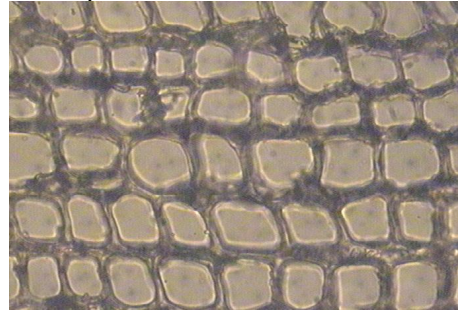
Mintaszám: 10500 db.

8.3.2 Lucfenyő

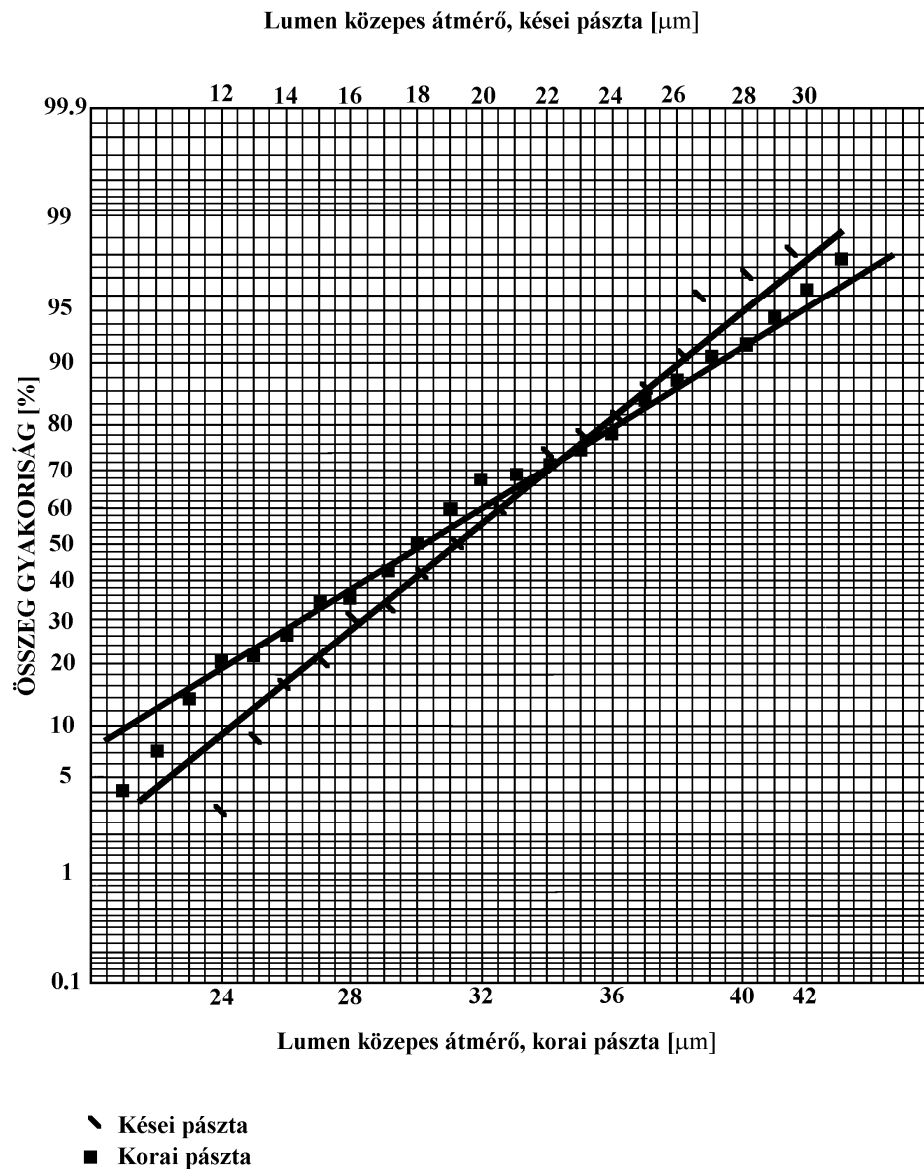
Kései pászta



Korai pászta



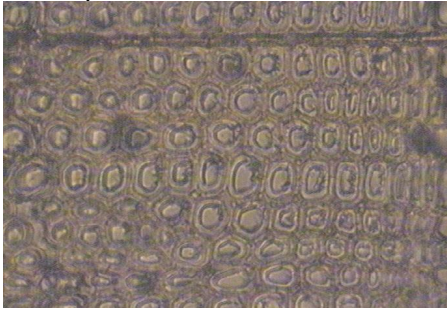
A mérési eredmények grafikus ábrázolása:



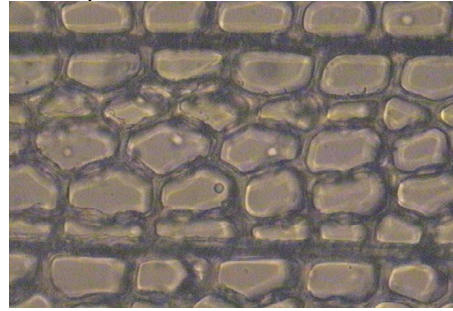
Mintaszám: 10500 db.

8.3.3 Vörösfenyő

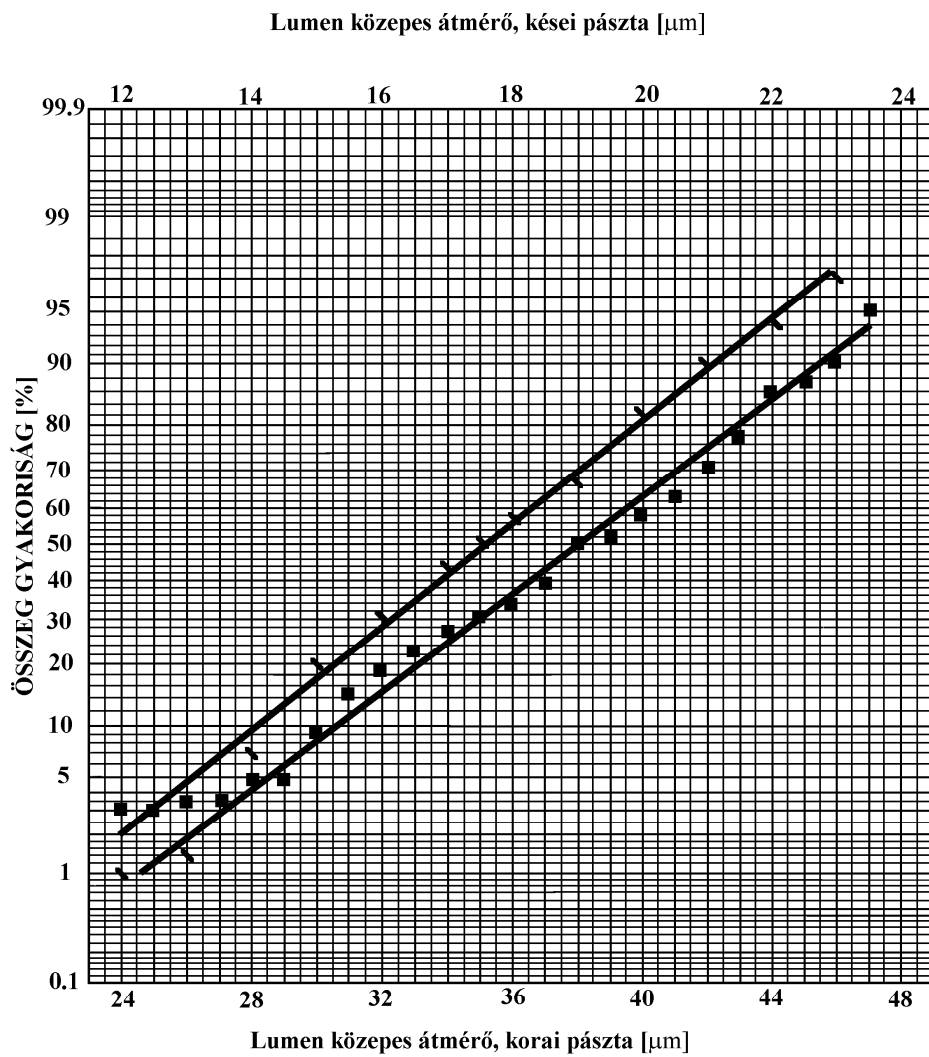
Kései pászta



Korai pászta



A mérési eredmények grafikus ábrázolása:



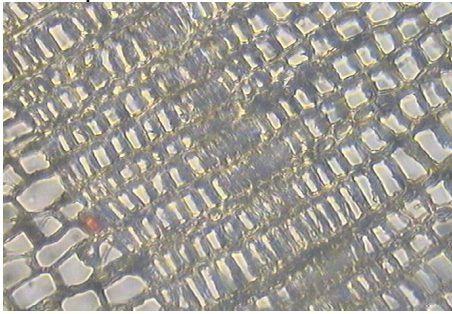
▾ Kései pászta

■ Korai pászta

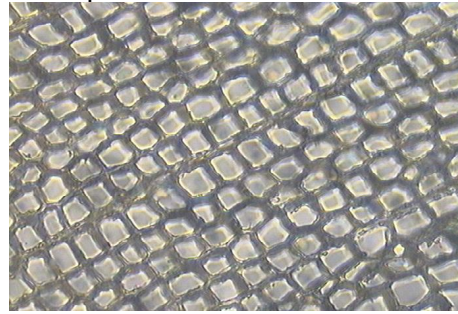
Mintaszám: 10500 db.

8.3.4 Oregoni mirtusz

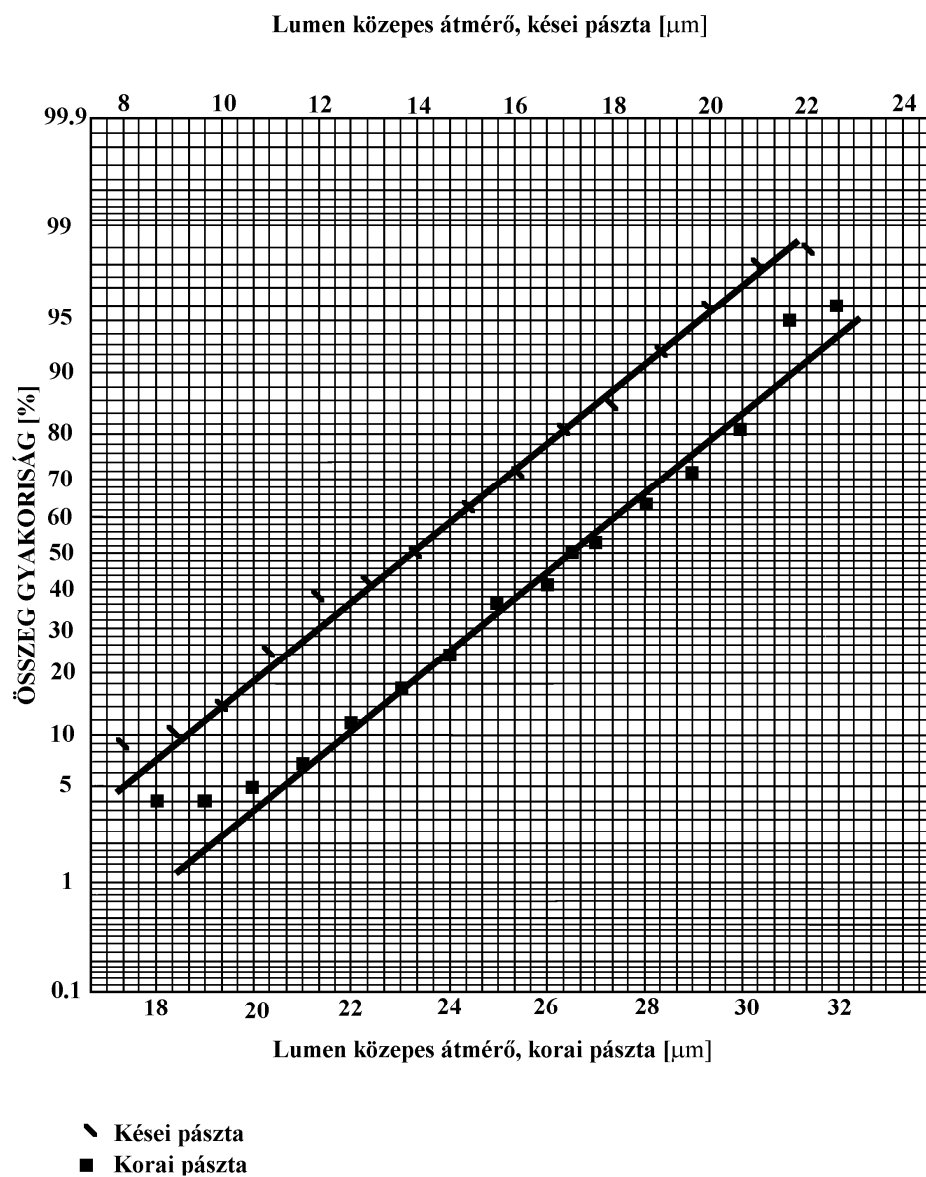
Kései pászta



Korai pászta



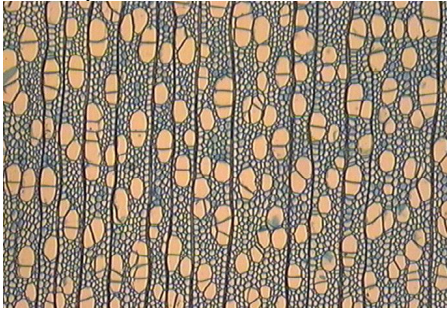
A mérési eredmények grafikus ábrázolása:



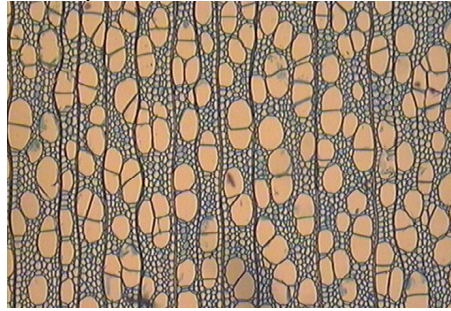
Mintaszám: 10500 db.

8.3.5 Fehér nyár

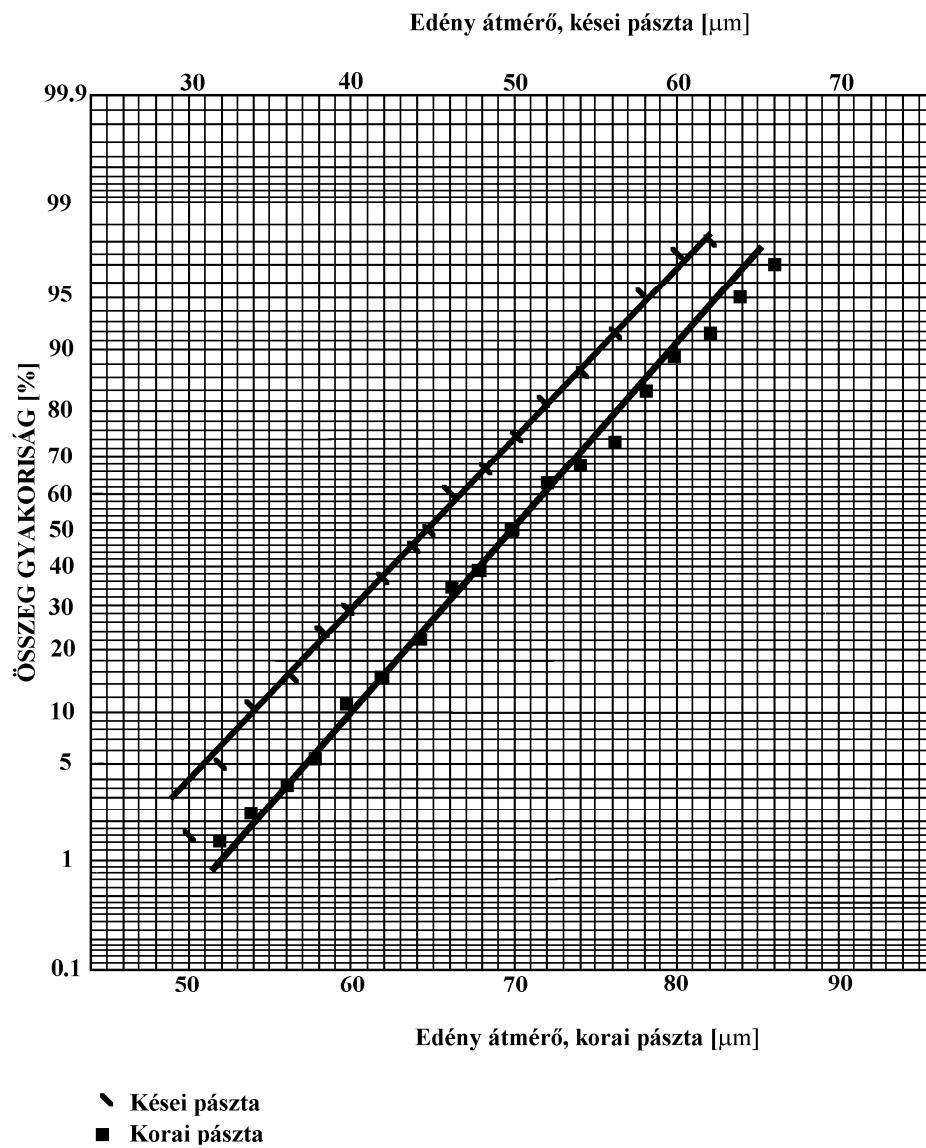
Kései pászta



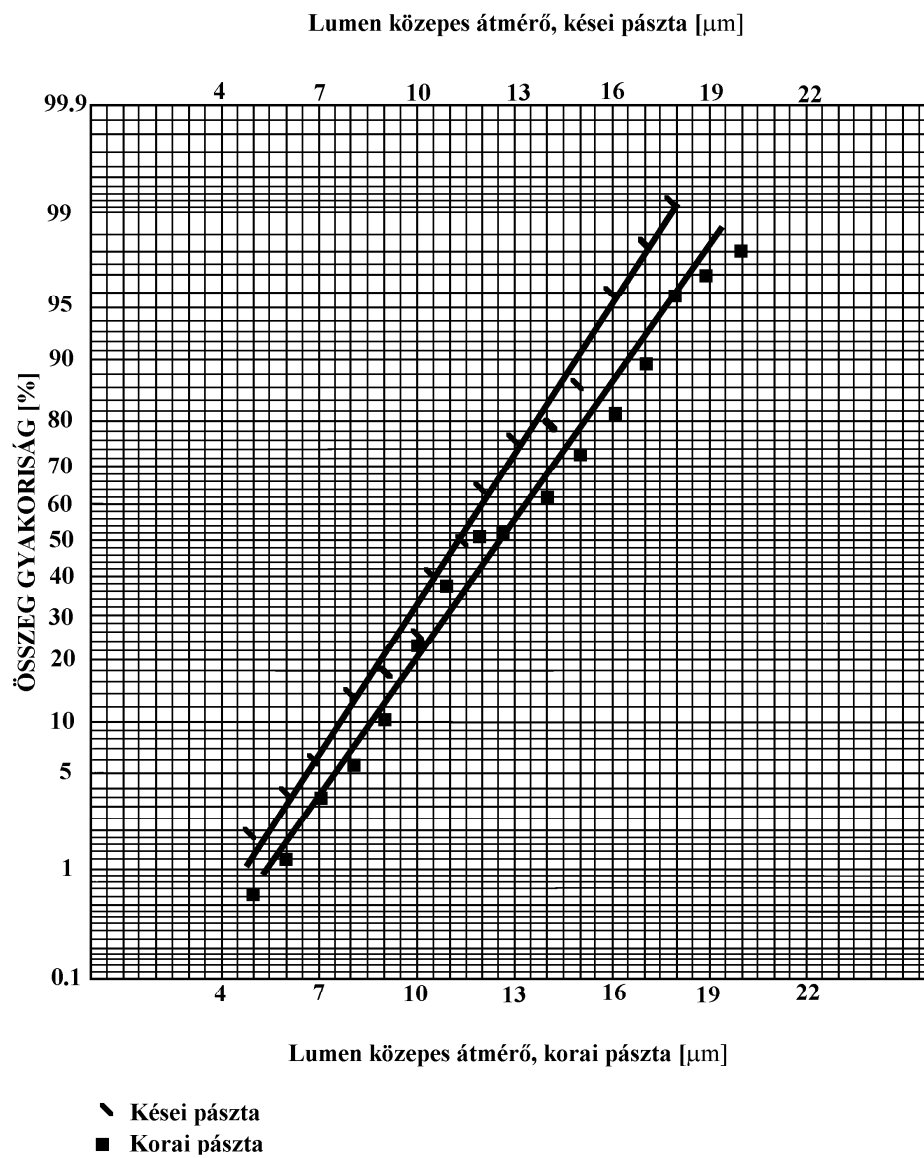
Korai pászta



A mérési eredmények grafikus ábrázolása:

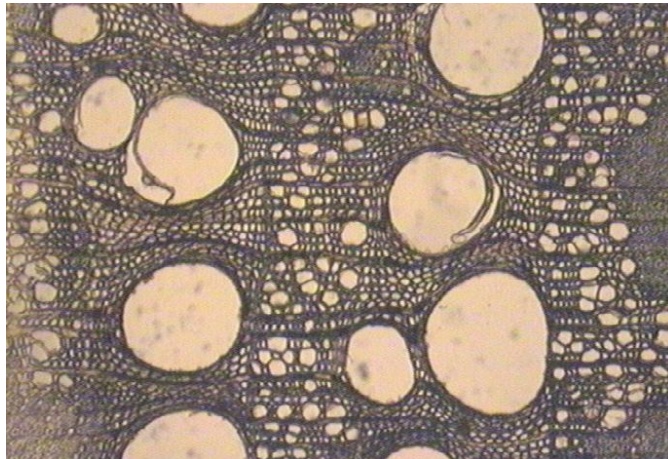


Mintaszám: 5000 db.

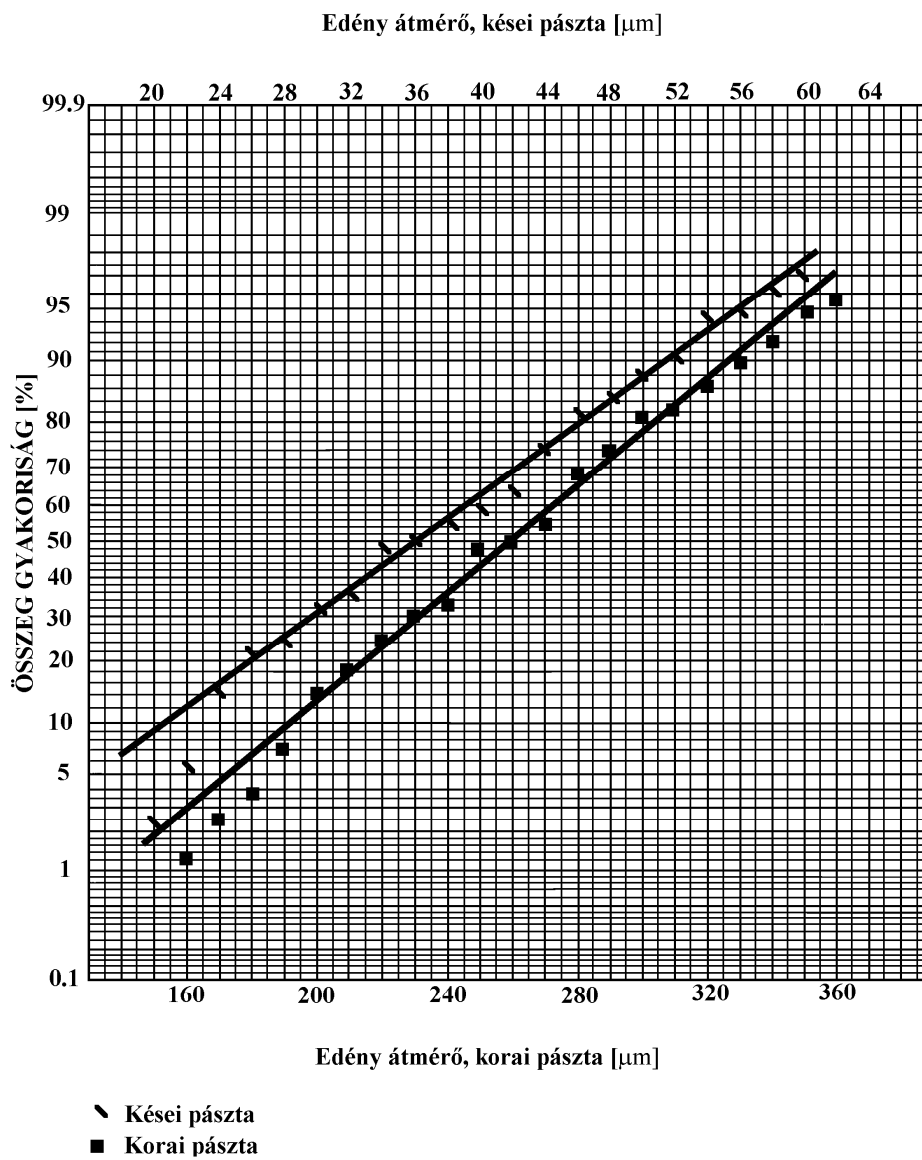


Mintaszám: 10000 db.

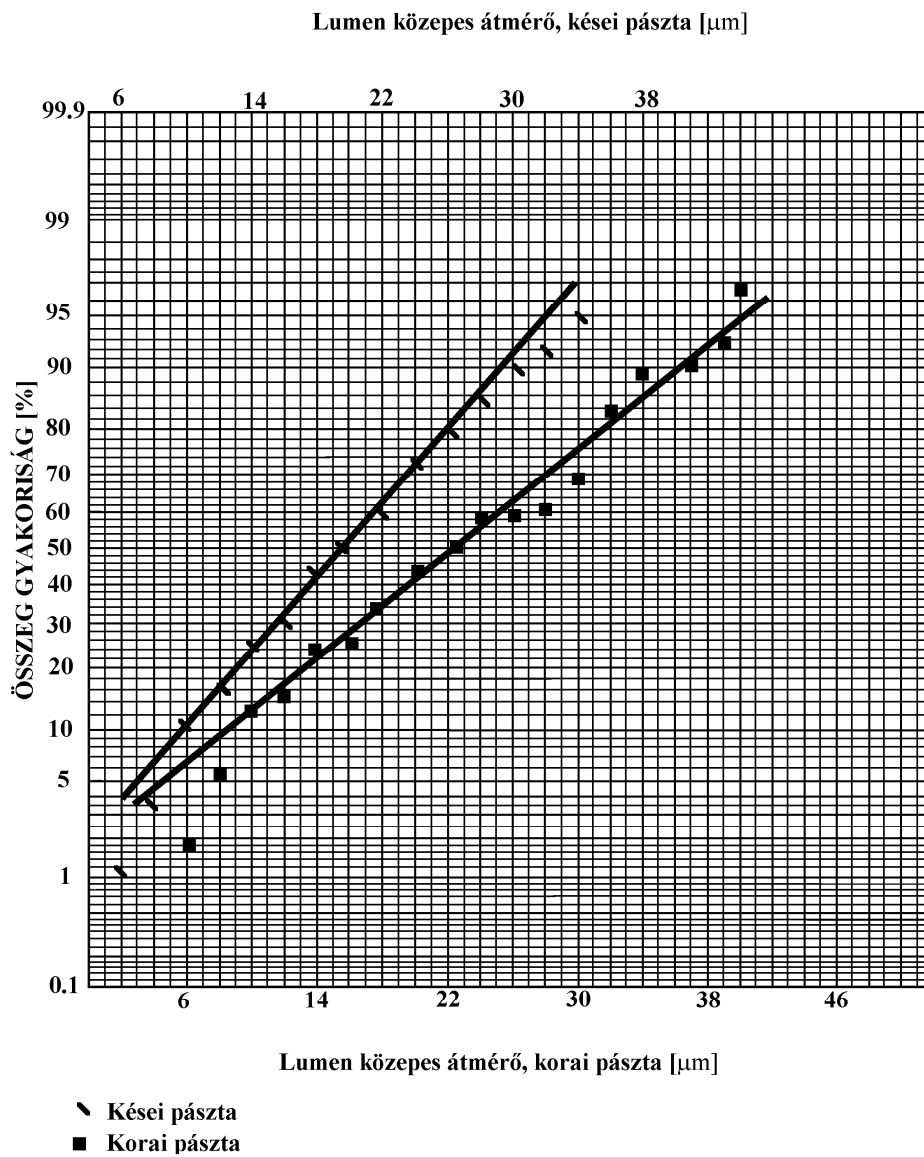
8.3.6 Kocsánytalan tölgy



A mérési eredmények grafikus ábrázolása:



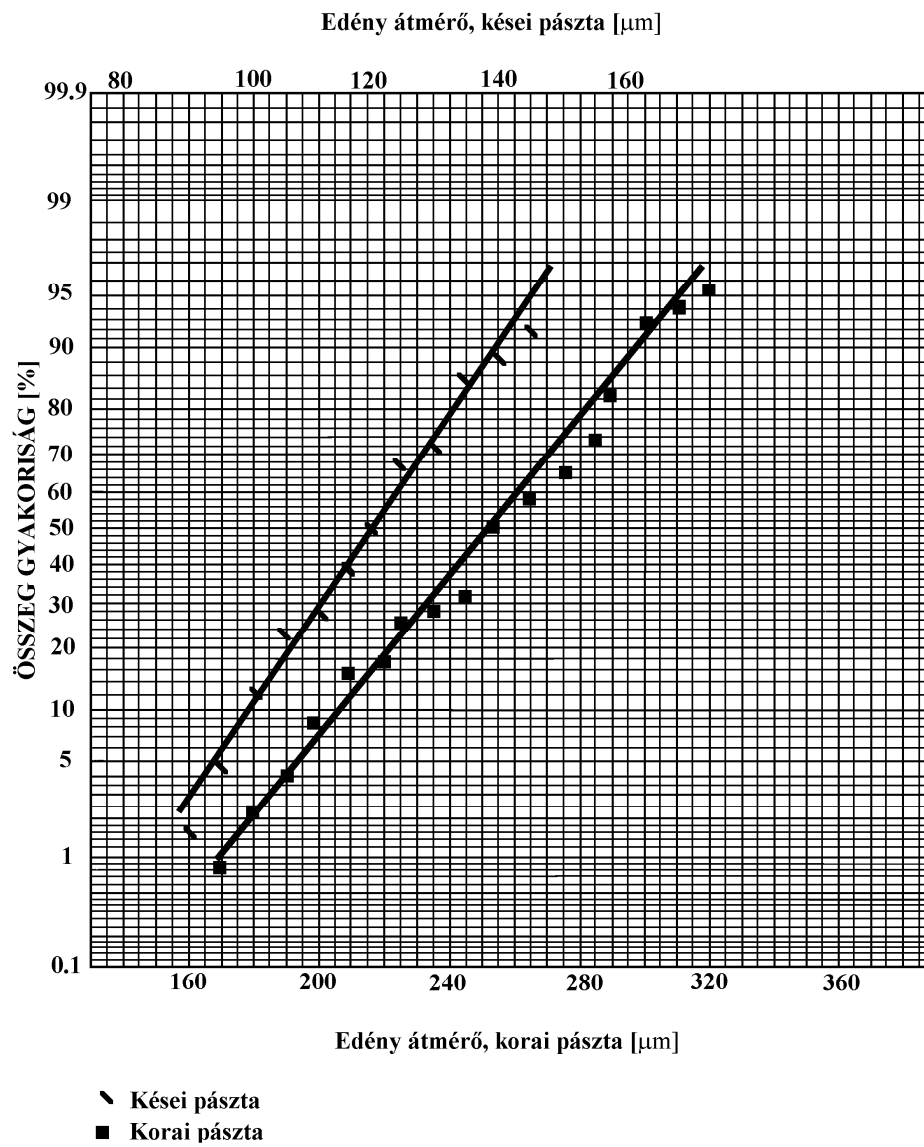
Mintaszám: 5000 db.



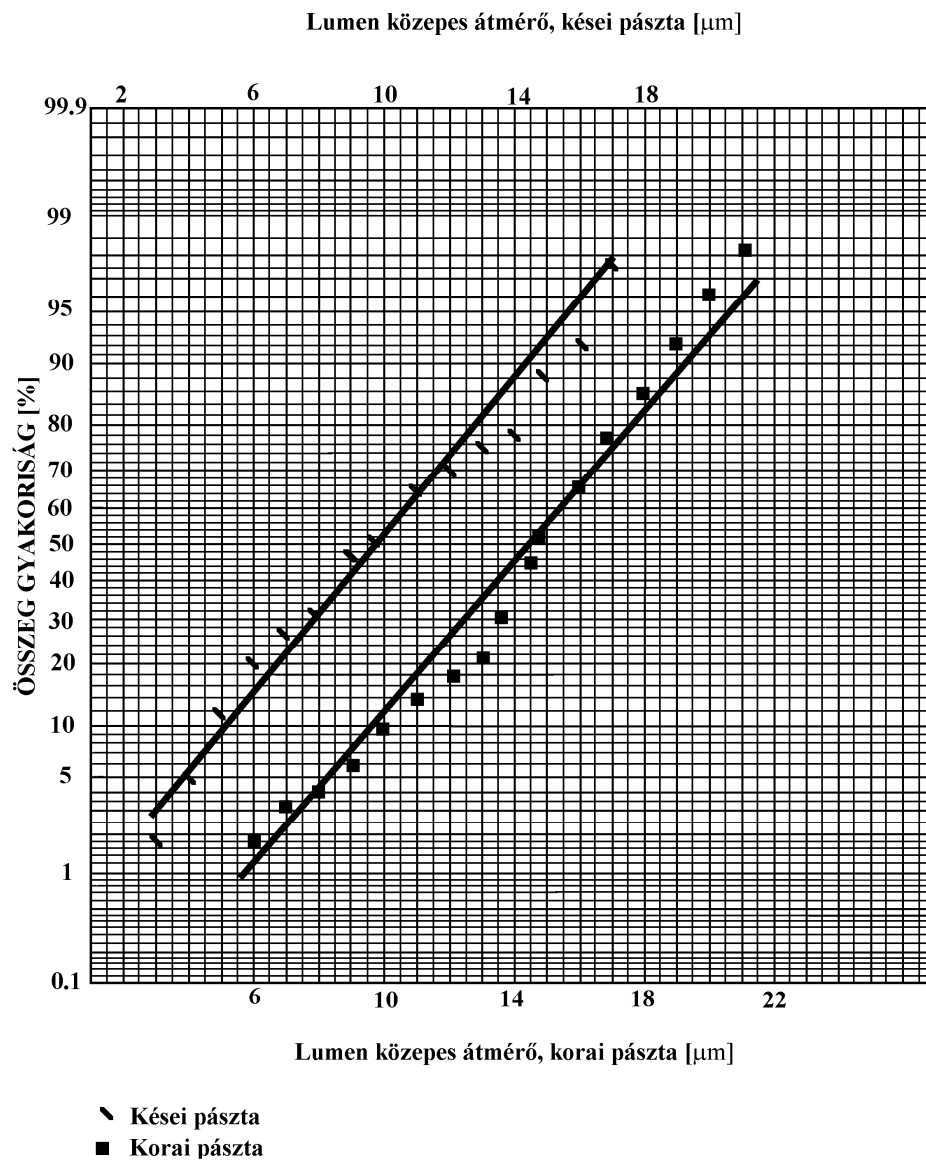
Mintaszám: 10000 db.

8.3.7 Fehér akác

A mérési eredmények grafikus ábrázolása:



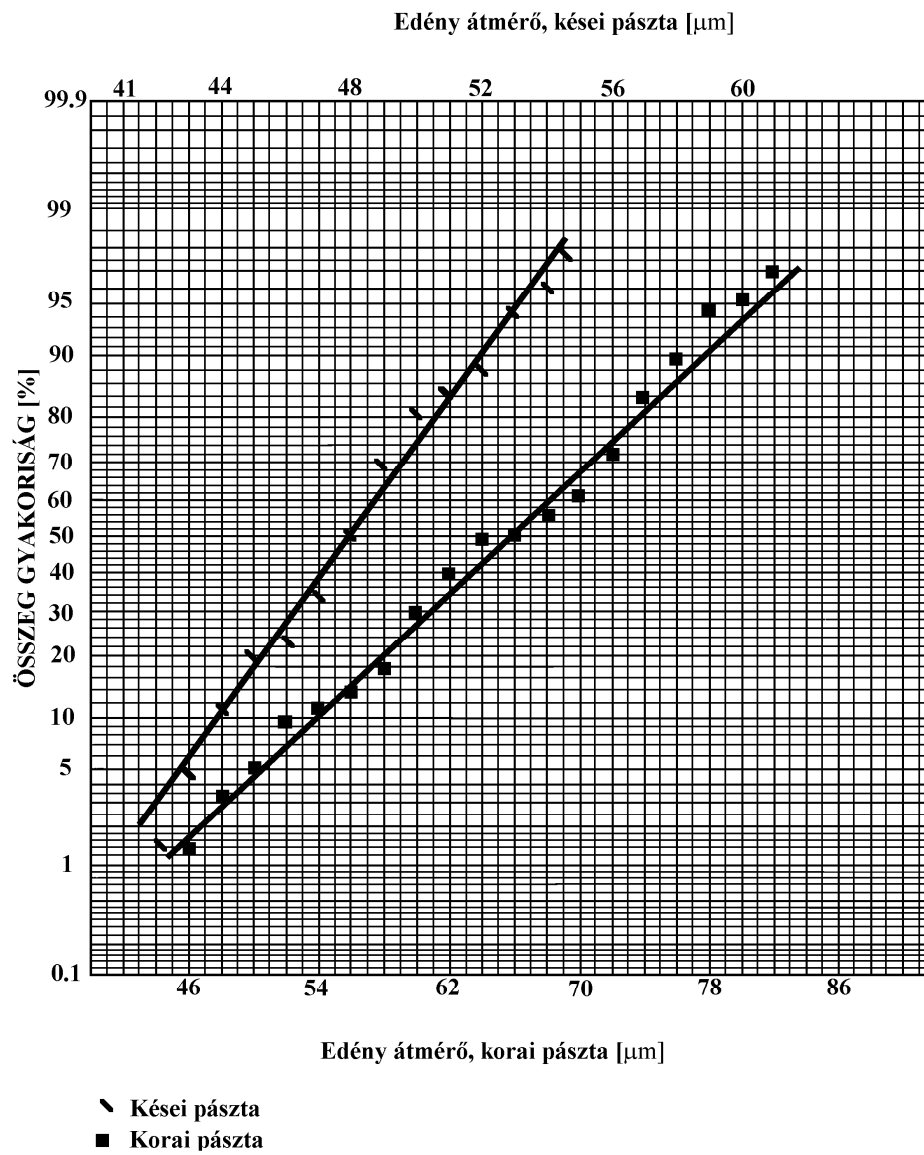
Mintaszám: 5000 db.



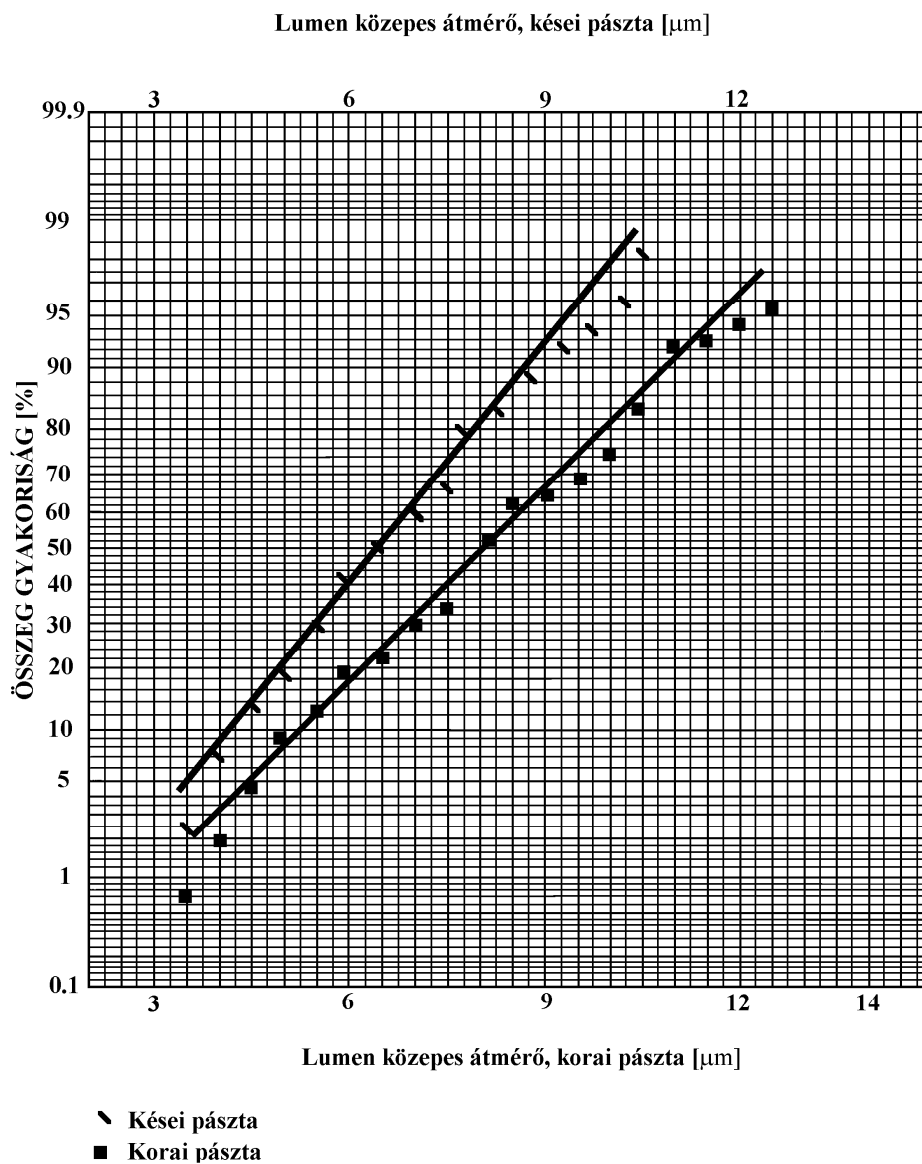
Mintaszám: 10000 db.

8.3.8 Bük

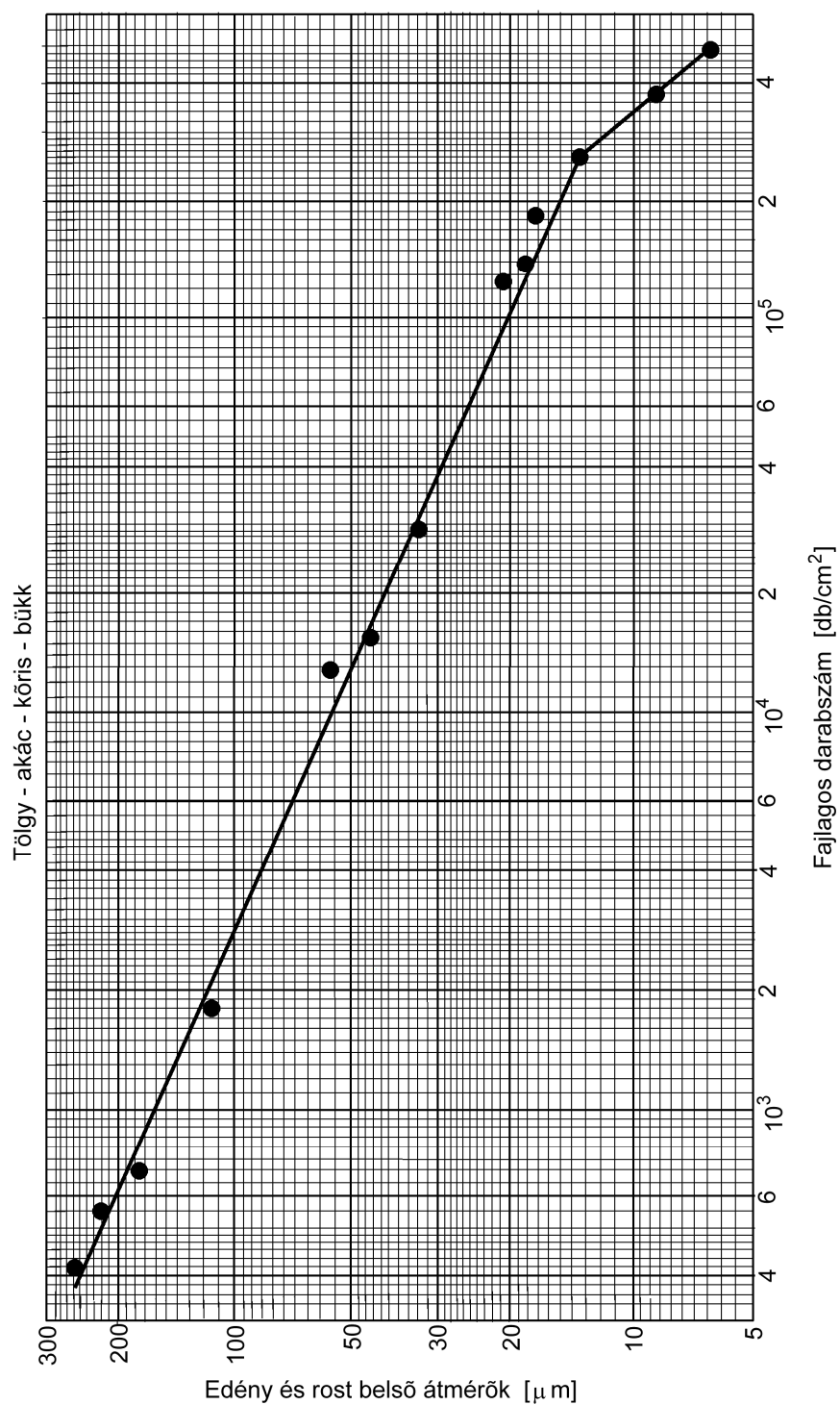
A mérési eredmények grafikus ábrázolása:



Mintaszám: 5000 db.



Mintaszám: 10000 db.



52. ábra. Az edény és rost belső átmérők, és fajlagos darabszámuk négy fafaj esetén

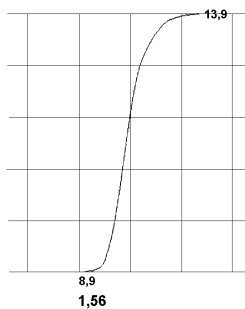
8.4 Kivonat a lépcsőzetesen megmunkált próbatestek mérési adataiból

8.4.1 Erdei fenyő

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 5.54 YM
 RZ 44.30 YM
 RMAX 52.83 YM
 RP 17.29 YM
 PT 53.48 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 12.86 YM
 RPK 5.39 YM
 RUK 14.37 YM
 MR1 9.4 %
 MR2 79.9 %

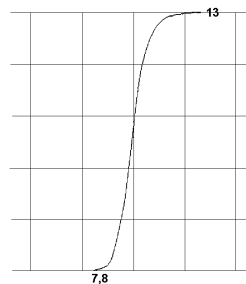
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.07 YM
 RZ 36.04 YM
 RMAX 40.47 YM
 RP 12.10 YM
 PT 49.71 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 8.91 YM
 RPK 3.81 YM
 RUK 10.31 YM
 MR1 8.9 %
 MR2 78.0 %

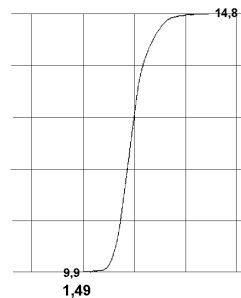
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.44 YM
 RZ 40.73 YM
 RMAX 46.89 YM
 RP 15.26 YM
 PT 58.15 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 9.41 YM
 RPK 4.76 YM
 RUK 11.52 YM
 MR1 8.6 %
 MR2 77.1 %

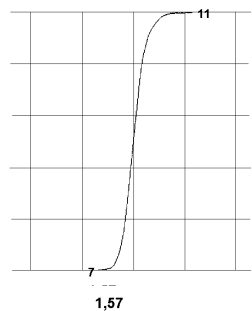
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.23 YM
 RZ 30.30 YM
 RMAX 41.69 YM
 RP 10.18 YM
 PT 43.40 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.51 YM
 RPK 3.25 YM
 RUK 8.85 YM
 MR1 7.7 %
 MR2 79.8 %

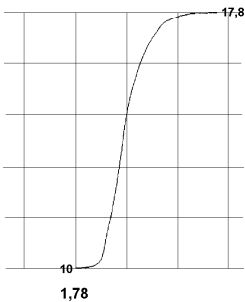
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 5.74 YM
 RZ 45.58 YM
 RMAX 51.73 YM
 RP 16.59 YM
 PT 67.41 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 10.33 YM
 RPK 4.79 YM
 RUK 15.66 YM
 MR1 8.4 %
 MR2 72.3 %

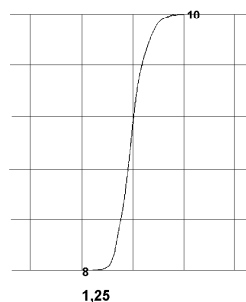
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.86 YM
 RZ 32.78 YM
 RMAX 33.71 YM
 RP 12.48 YM
 PT 43.70 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 8.80 YM
 RPK 3.92 YM
 RUK 9.64 YM
 MR1 8.1 %
 MR2 76.1 %

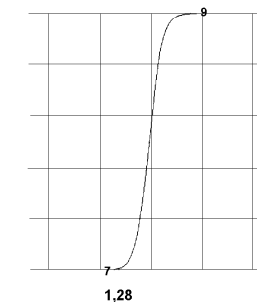
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.52 YM
 RZ 30.35 YM
 RMAX 38.70 YM
 RP 12.95 YM
 PT 39.55 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 9.35 YM
 RPK 5.68 YM
 RUK 6.87 YM
 MR1 13.5 %
 MR2 85.5 %

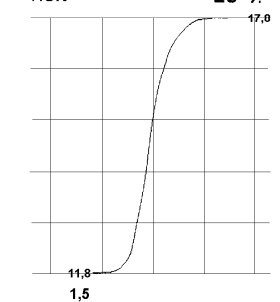
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 5.31 YM
 RZ 47.70 YM
 RMAX 54.47 YM
 RP 17.09 YM
 PT 70.56 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 12.77 YM
 RPK 6.12 YM
 RUK 13.43 YM
 MR1 7.8 %
 MR2 80.0 %

P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %

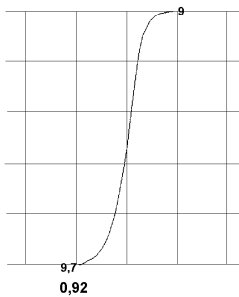


8.4.2 Lucfenyő

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.52 YM
 RZ 34.96 YM
 RMAX 38.77 YM
 RP 16.83 YM
 PT 45.73 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 12.92 YM
 RPK 6.58 YM
 RUK 7.42 YM
 MR1 12.7 %
 MR2 86.8 %

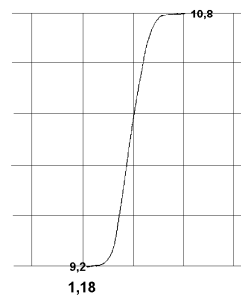
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.82 YM
 RZ 32.52 YM
 RMAX 40.77 YM
 RP 13.53 YM
 PT 47.20 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 14.85 YM
 RPK 4.64 YM
 RUK 7.58 YM
 MR1 6.4 %
 MR2 85.7 %

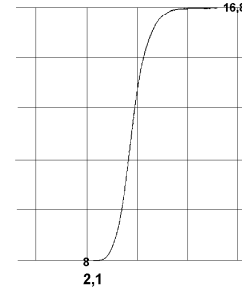
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.87 YM
 RZ 36.73 YM
 RMAX 49.44 YM
 RP 13.58 YM
 PT 59.27 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 13.84 YM
 RPK 4.33 YM
 RUK 9.86 YM
 MR1 9.5 %
 MR2 84.2 %

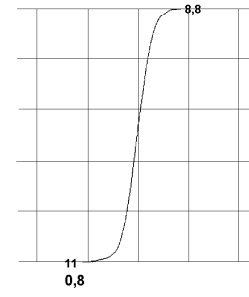
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.52 YM
 RZ 38.96 YM
 RMAX 40.39 YM
 RP 20.52 YM
 PT 46.88 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 12.92 YM
 RPK 6.79 YM
 RUK 7.14 YM
 MR1 10.9 %
 MR2 86.2 %

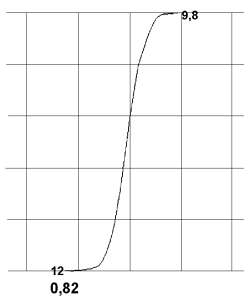
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.55 YM
 RZ 33.55 YM
 RMAX 43.47 YM
 RP 18.60 YM
 PT 51.86 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 14.31 YM
 RPK 6.73 YM
 RUK 5.95 YM
 MR1 10.1 %
 MR2 89.2 %

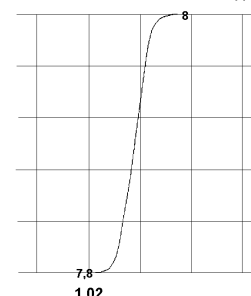
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.52 YM
 RZ 26.95 YM
 RMAX 31.49 YM
 RP 12.48 YM
 PT 36.87 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 10.71 YM
 RPK 4.33 YM
 RUK 6.15 YM
 MR1 8.6 %
 MR2 86.7 %

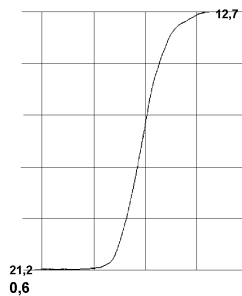
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 6.27 YM
 RZ 50.42 YM
 RMAX 73.12 YM
 RP 27.56 YM
 PT 82.44 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 17.47 YM
 RPK 10.35 YM
 RUK 10.64 YM
 MR1 9.3 %
 MR2 82.9 %

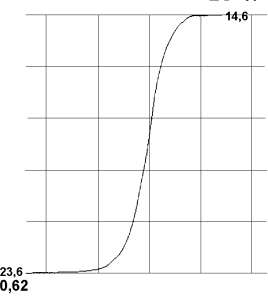
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 6.39 YM
 RZ 59.07 YM
 RMAX 79.85 YM
 RP 36.38 YM
 PT 94.33 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 18.83 YM
 RPK 13.47 YM
 RUK 9.72 YM
 MR1 10.0 %
 MR2 87.4 %

P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %

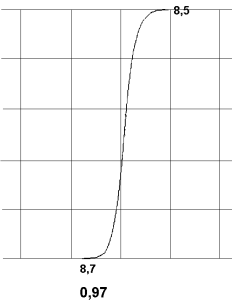


8.4.3 Nyugati tuja

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.49 YM
 RZ 30.79 YM
 RMAX 36.74 YM
 RP 14.14 YM
 PT 41.64 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 10.38 YM
 RPK 4.90 YM
 RUK 6.44 YM
 MR1 10.0 %
 MR2 87.2 %

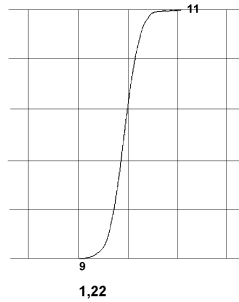
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.24 YM
 RZ 33.98 YM
 RMAX 41.61 YM
 RP 16.56 YM
 PT 48.14 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 12.74 YM
 RPK 6.47 YM
 RUK 6.58 YM
 MR1 9.1 %
 MR2 86.7 %

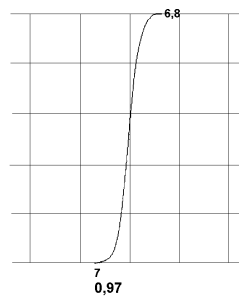
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.46 YM
 RZ 27.59 YM
 RMAX 32.42 YM
 RP 13.50 YM
 PT 32.32 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 10.44 YM
 RPK 4.62 YM
 RUK 5.68 YM
 MR1 9.4 %
 MR2 86.5 %

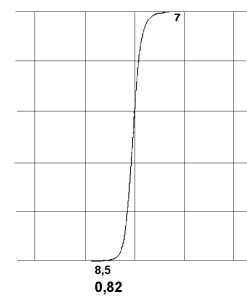
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 2.89 YM
 RZ 25.16 YM
 RMAX 35.66 YM
 RP 11.90 YM
 PT 37.73 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.86 YM
 RPK 4.04 YM
 RUK 5.45 YM
 MR1 9.4 %
 MR2 87.7 %

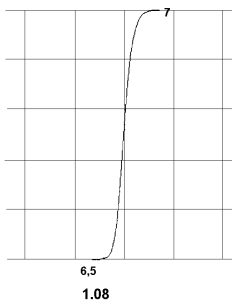
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 2.66 YM
 RZ 22.83 YM
 RMAX 29.43 YM
 RP 10.77 YM
 PT 32.41 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.74 YM
 RPK 3.34 YM
 RUK 5.00 YM
 MR1 9.9 %
 MR2 86.3 %

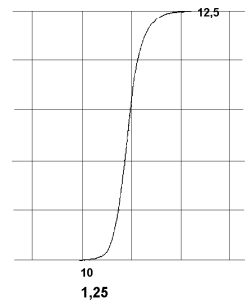
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.59 YM
 RZ 36.99 YM
 RMAX 47.73 YM
 RP 17.99 YM
 PT 55.95 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 13.24 YM
 RPK 6.15 YM
 RUK 8.88 YM
 MR1 9.8 %
 MR2 85.1 %

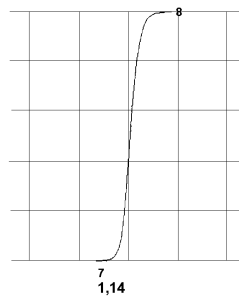
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 2.82 YM
 RZ 24.60 YM
 RMAX 32.46 YM
 RP 10.88 YM
 PT 37.14 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.98 YM
 RPK 4.27 YM
 RUK 5.51 YM
 MR1 10.0 %
 MR2 85.5 %

P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %

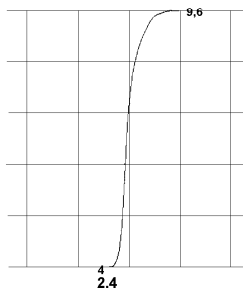


8.4.4 Vörösfenyő

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 9.25 YM
 RZ 26.44 YM
 RMAX 28.59 YM
 RP 7.54 YM
 PT 31.97 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 6.06 YM
 RPK 2.29 YM
 RUK 9.83 YM
 MR1 7.2 %
 MR2 76.9 %

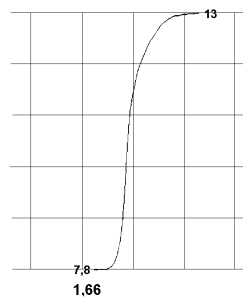
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.79 YM
 RZ 36.99 YM
 RMAX 46.17 YM
 RP 11.75 YM
 PT 50.45 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.68 YM
 RPK 3.59 YM
 RUK 14.11 YM
 MR1 9.2 %
 MR2 73.6 %

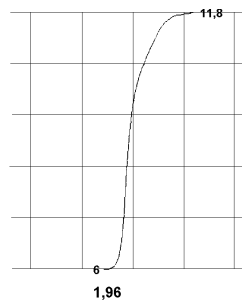
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 5.10 YM
 RZ 33.63 YM
 RMAX 36.77 YM
 RP 10.83 YM
 PT 42.57 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 8.71 YM
 RPK 2.52 YM
 RUK 14.48 YM
 MR1 6.2 %
 MR2 73.0 %

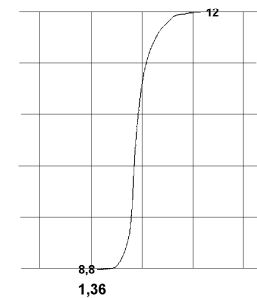
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.38 YM
 RZ 41.29 YM
 RMAX 45.94 YM
 RP 14.40 YM
 PT 49.94 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 8.61 YM
 RPK 5.33 YM
 RUK 12.65 YM
 MR1 9.8 %
 MR2 78.5 %

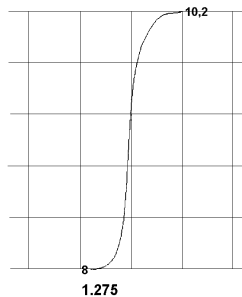
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.78 YM
 RZ 36.51 YM
 RMAX 43.24 YM
 RP 16.02 YM
 PT 44.20 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.14 YM
 RPK 5.81 YM
 RUK 10.96 YM
 MR1 14.3 %
 MR2 79.0 %

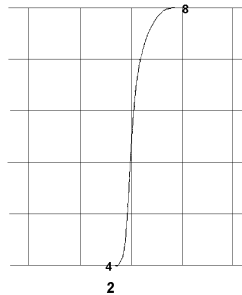
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.43 YM
 RZ 25.70 YM
 RMAX 26.47 YM
 RP 7.19 YM
 PT 28.76 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 6.23 YM
 RPK 2.11 YM
 RUK 9.54 YM
 MR1 8.0 %
 MR2 74.4 %

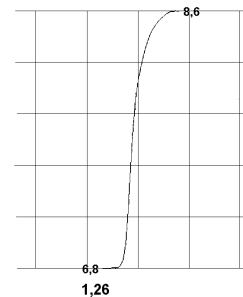
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 3.52 YM
 RZ 28.53 YM
 RMAX 32.53 YM
 RP 9.52 YM
 PT 36.96 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 6.47 YM
 RPK 2.49 YM
 RUK 9.74 YM
 MR1 7.6 %
 MR2 74.2 %

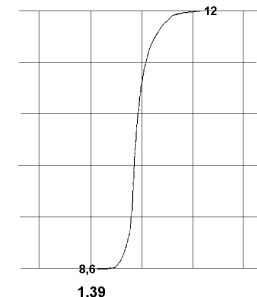
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 4.30 YM
 RZ 41.31 YM
 RMAX 45.78 YM
 RP 14.77 YM
 PT 49.91 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 8.58 YM
 RPK 5.45 YM
 RUK 12.42 YM
 MR1 9.9 %
 MR2 78.8 %

P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



8.4.5 Bük

```

PROGRAM          1
MEASUREMENT      19
T1 MFW           250 CAL
LT               17.50 MM
LM               12.50 MM
UB               250.0 YM

```

```

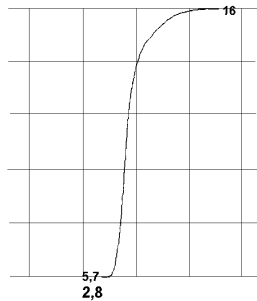
LC GS           2.500 MM
RA              4.47 YM
RZ              39.23 YM
RMAX            44.22 YM
RP              11.06 YM
PT              51.94 YM
LC SF           2.500 MM
RK              6.68 YM
RPK             2.66 YM
RUK             17.27 YM
MR1             10.5 %
MR2             77.6 %

```

```

P MATERIAL RATIO POS
UER             25.00 YM
HOR             20 %

```



```

PROGRAM          1
MEASUREMENT      20
T1 MFW           250 CAL
LT               17.50 MM
LM               12.50 MM
UB               250.0 YM

```

```

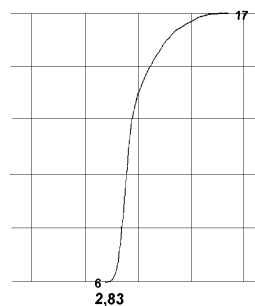
LC GS           2.500 MM
RA              6.79 YM
RZ              48.49 YM
RMAX            53.63 YM
RP              11.80 YM
PT              56.26 YM
LC SF           2.500 MM
RK              9.99 YM
RPK             2.01 YM
RUK             21.45 YM
MR1             6.7 %
MR2            72.3 %

```

```

P MATERIAL RATIO POS
UER             25.00 YM
HOR             20 %

```



```

PROGRAM          1
MEASUREMENT      21
T1 MFW           250 CAL
LT               17.50 MM
LM               12.50 MM
UB               250.0 YM

```

```

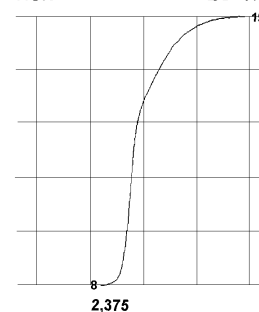
LC GS           2.500 MM
RA              7.66 YM
RZ              53.97 YM
RMAX            58.38 YM
RP              14.25 YM
PT              66.15 YM
LC SF           2.500 MM
RK              10.03 YM
RPK             3.13 YM
RUK             24.19 YM
MR1             7.2 %
MR2            69.2 %

```

```

P MATERIAL RATIO POS
UER             25.00 YM
HOR             20 %

```



8.4.6 Nyár

```

T1 MFW           250 CAL
LT               17.50 MM
LM               12.50 MM
UB               250.0 YM

```

```

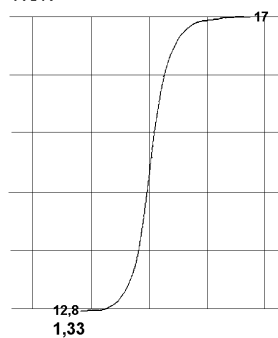
LC GS           2.500 MM
RA              6.00 YM
RZ              53.41 YM
RMAX            58.78 YM
RP              21.07 YM
PT              73.00 YM
LC SF           2.500 MM
RK              17.12 YM
RPK             8.68 YM
RUK             12.15 YM
MR1             10.9 %
MR2            86.8 %

```

```

P MATERIAL RATIO POS
UER             25.00 YM
HOR             20 %

```



```

T1 MFW           250 CAL
LT               17.50 MM
LM               12.50 MM
UB               250.0 YM

```

```

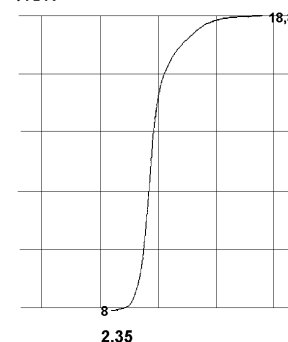
LC GS           2.500 MM
RA              5.42 YM
RZ              46.80 YM
RMAX            63.06 YM
RP              15.64 YM
PT              64.48 YM
LC SF           2.500 MM
RK              9.89 YM
RPK             4.68 YM
RUK             18.02 YM
MR1             9.2 %
MR2            77.9 %

```

```

P MATERIAL RATIO POS
UER             25.00 YM
HOR             20 %

```



```

T1 MFW           250 CAL
LT               17.50 MM
LM               12.50 MM
UB               250.0 YM

```

```

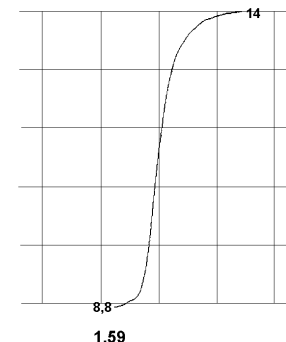
LC GS           2.500 MM
RA              5.43 YM
RZ              45.67 YM
RMAX            50.38 YM
RP              14.95 YM
PT              54.79 YM
LC SF           2.500 MM
RK              13.72 YM
RPK             5.68 YM
RUK             14.71 YM
MR1             8.5 %
MR2            83.3 %

```

```

P MATERIAL RATIO POS
UER             25.00 YM
HOR             20 %

```



8.4.7 Tölgy

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

 LC GS 2.500 MM
 RA 7.08 YM
 RZ 56.59 YM
 RMAX 112.3 YM
 RP 13.82 YM
 PT 116.1 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 6.71 YM
 RPK 2.79 YM
 RUK 40.01 YM
 MR1 8.6 %
 MR2 81.5 %

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

 LC GS 2.500 MM
 RA 6.93 YM
 RZ 73.03 YM
 RMAX 132.7 YM
 RP 15.01 YM
 PT 140.6 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 5.72 YM
 RPK 3.28 YM
 RUK 40.77 YM
 MR1 13.2 %
 MR2 82.0 %

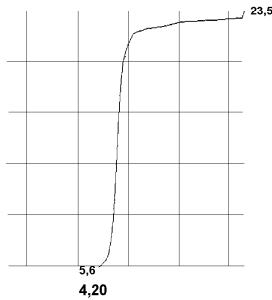
T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

 LC GS 2.500 MM
 RA 12.63 YM
 RZ 100.3 YM
 RMAX 162.2 YM
 RP 21.90 YM
 PT 160.3 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 10.96 YM
 RPK 6.67 YM
 RUK 72.69 YM
 MR1 13.2 %
 MR2 81.0 %

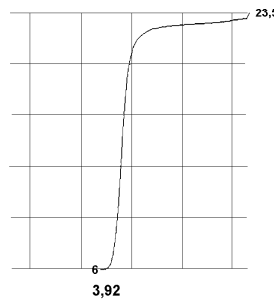
T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

 LC GS 2.500 MM
 RA 8.13 YM
 RZ 64.03 YM
 RMAX 116.9 YM
 RP 14.40 YM
 PT 123.2 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.39 YM
 RPK 4.67 YM
 RUK 46.92 YM
 MR1 14.5 %
 MR2 81.4 %

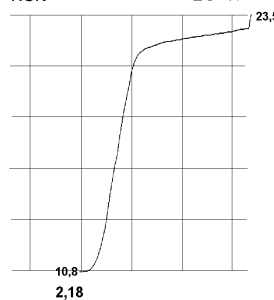
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



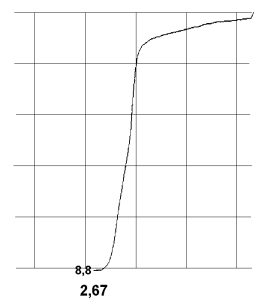
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

 LC GS 2.500 MM
 RA 8.19 YM
 RZ 84.35 YM
 RMAX 124.2 YM
 RP 15.66 YM
 PT 123.5 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.64 YM
 RPK 3.65 YM
 RUK 52.17 YM
 MR1 11.8 %
 MR2 82.9 %

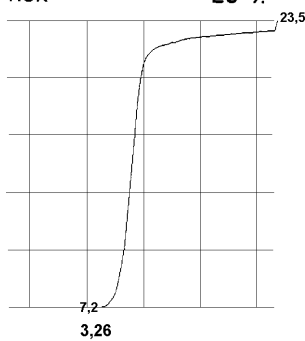
T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

 LC GS 2.500 MM
 RA 9.57 YM
 RZ 75.61 YM
 RMAX 149.9 YM
 RP 16.05 YM
 PT 152.8 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.39 YM
 RPK 4.76 YM
 RUK 52.14 YM
 MR1 13.3 %
 MR2 79.7 %

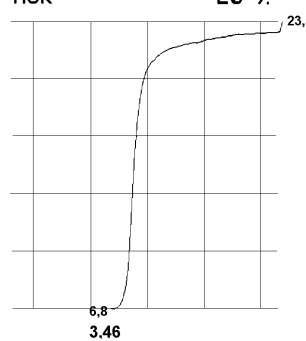
T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

 LC GS 2.500 MM
 RA 10.65 YM
 RZ 96.71 YM
 RMAX 116.6 YM
 RP 16.88 YM
 PT 119.8 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 8.47 YM
 RPK 3.04 YM
 RUK 60.17 YM
 MR1 8.3 %
 MR2 81.1 %

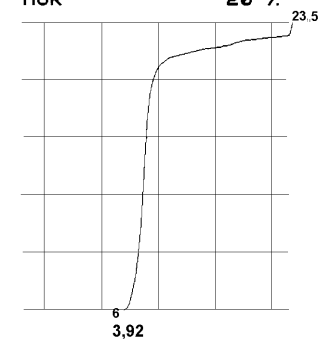
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



8.4.8 Akác

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

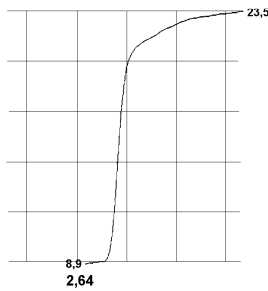
LC GS 2.500 MM
 RA 6.36 YM
 RZ 52.61 YM
 RMAX 68.33 YM
 RP 15.01 YM
 PT 78.86 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 6.79 YM
 RPK 4.64 YM
 RUK 30.20 YM
 MR1 11.9 %
 MR2 78.3 %

LC GS 2.500 MM
 RA 5.40 YM
 RZ 55.42 YM
 RMAX 70.62 YM
 RP 14.40 YM
 PT 84.44 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 5.80 YM
 RPK 4.61 YM
 RUK 24.61 YM
 MR1 10.5 %
 MR2 78.1 %

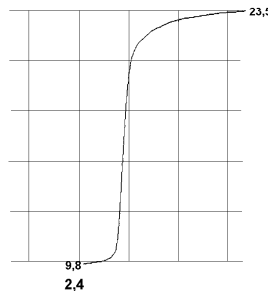
LC GS 2.500 MM
 RA 7.02 YM
 RZ 49.84 YM
 RMAX 64.21 YM
 RP 16.56 YM
 PT 65.63 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 8.42 YM
 RPK 5.02 YM
 RUK 29.22 YM
 MR1 11.4 %
 MR2 76.0 %

LC GS 2.500 MM
 RA 7.90 YM
 RZ 70.89 YM
 RMAX 90.19 YM
 RP 12.74 YM
 PT 99.09 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.08 YM
 RPK 2.78 YM
 RUK 38.57 YM
 MR1 7.0 %
 MR2 77.0 %

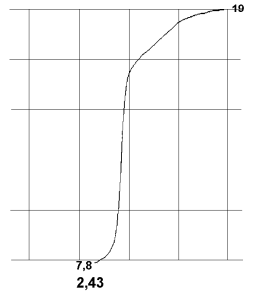
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



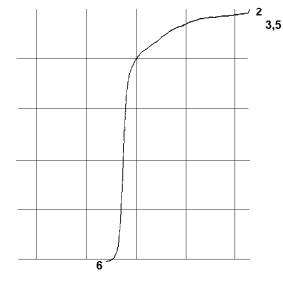
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

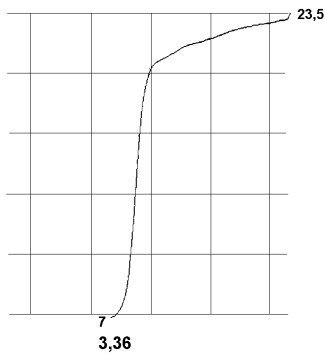
T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 9.75 YM
 RZ 73.41 YM
 RMAX 135.1 YM
 RP 16.77 YM
 PT 144.2 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.35 YM
 RPK 3.31 YM
 RUK 52.19 YM
 MR1 9.8 %
 MR2 79.3 %

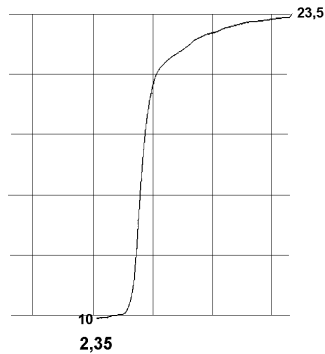
LC GS 2.500 MM
 RA 7.97 YM
 RZ 71.43 YM
 RMAX 102.4 YM
 RP 16.37 YM
 PT 109.5 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.00 YM
 RPK 4.21 YM
 RUK 38.02 YM
 MR1 9.0 %
 MR2 76.8 %

LC GS 2.500 MM
 RA 6.18 YM
 RZ 51.73 YM
 RMAX 85.14 YM
 RP 16.94 YM
 PT 94.91 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 7.32 YM
 RPK 5.28 YM
 RUK 31.56 YM
 MR1 13.8 %
 MR2 81.2 %

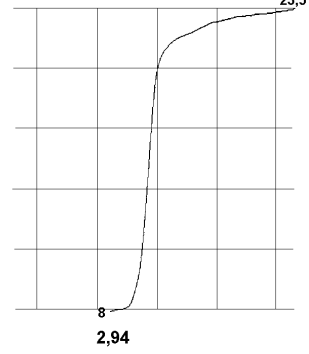
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %

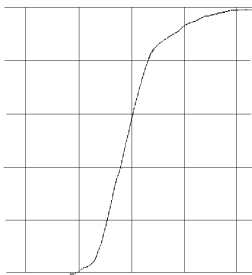


8.4.9 Kőrís

T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 8.61 YM
 RZ 63.22 YM
 RMAX 121.0 YM
 RP 18.23 YM
 PT 134.6 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 13.61 YM
 RPK 6.06 YM
 RUK 36.91 YM
 MR1 9.6 %
 MR2 80.0 %

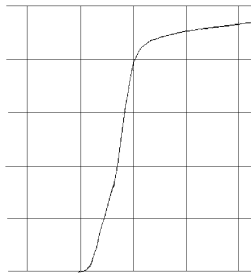
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 11.43 YM
 RZ 87.02 YM
 RMAX 129.9 YM
 RP 21.94 YM
 PT 146.9 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 13.41 YM
 RPK 6.35 YM
 RUK 69.96 YM
 MR1 12.1 %
 MR2 82.8 %

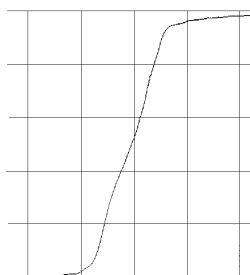
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 7.37 YM
 RZ 64.47 YM
 RMAX 160.9 YM
 RP 19.87 YM
 PT 164.3 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 11.70 YM
 RPK 10.76 YM
 RUK 39.31 YM
 MR1 13.8 %
 MR2 85.6 %

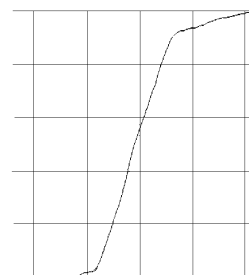
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 7.98 YM
 RZ 64.61 YM
 RMAX 100.4 YM
 RP 17.73 YM
 PT 107.9 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 17.03 YM
 RPK 6.65 YM
 RUK 34.27 YM
 MR1 12.9 %
 MR2 85.4 %

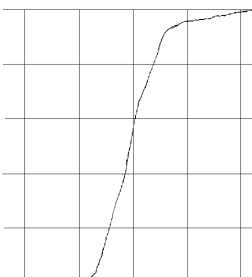
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 7.29 YM
 RZ 59.59 YM
 RMAX 82.55 YM
 RP 18.81 YM
 PT 83.54 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 15.87 YM
 RPK 6.45 YM
 RUK 35.05 YM
 MR1 16.9 %
 MR2 88.2 %

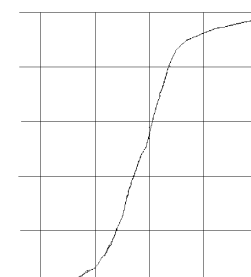
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 10.65 YM
 RZ 89.36 YM
 RMAX 144.3 YM
 RP 20.86 YM
 PT 181.8 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 12.41 YM
 RPK 6.93 YM
 RUK 51.61 YM
 MR1 18.4 %
 MR2 80.5 %

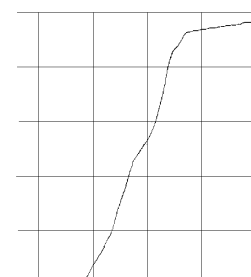
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 2.500 MM
 RA 10.54 YM
 RZ 75.74 YM
 RMAX 126.9 YM
 RP 21.10 YM
 PT 134.8 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 14.68 YM
 RPK 8.90 YM
 RUK 58.29 YM
 MR1 23.6 %
 MR2 85.4 %

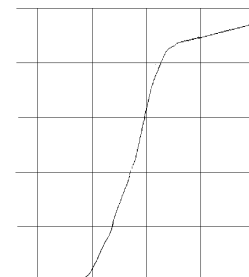
P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %



T1 MFW 250 CAL
 LT 17.50 MM
 LM 12.50 MM
 UB 250.0 YM

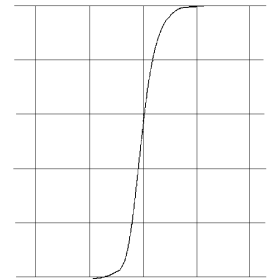
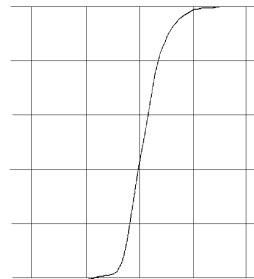
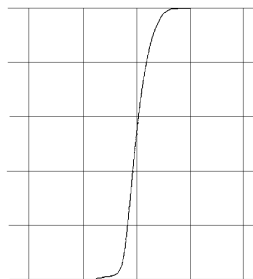
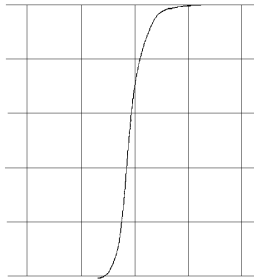
LC GS 2.500 MM
 RA 12.79 YM
 RZ 97.06 YM
 RMAX 117.5 YM
 RP 22.22 YM
 PT 137.0 YM
 LC SF 2.500 MM
 RK 19.61 YM
 RPK 7.42 YM
 RUK 71.18 YM
 MR1 4.6 %
 MR2 83.1 %

P MATERIAL RATIO POS
 UER 25.00 YM
 HOR 20 %

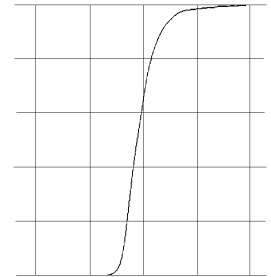
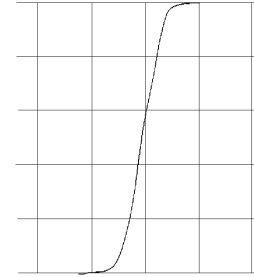
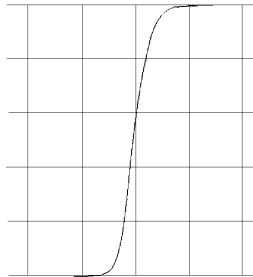
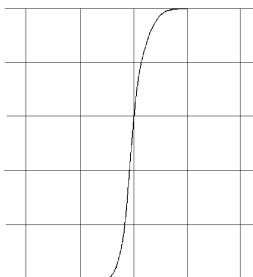


8.5 Kivonat az üzemi mérések eredményeiből (Minden próbatestről egy jellemző adatsor lett kiválasztva)

| | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
| T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL |
| LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM |
| LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM |
| UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM |
| LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM |
| RA | 4.14 YM | RA | 4.18 YM | RA | 5.14 YM | RA | 4.23 YM |
| RZ | 34.71 YM | RZ | 30.81 YM | RZ | 38.57 YM | RZ | 36.41 YM |
| RMAX | 43.62 YM | RMAX | 36.48 YM | RMAX | 47.97 YM | RMAX | 42.89 YM |
| RP | 12.80 YM | RP | 13.23 YM | RP | 15.84 YM | RP | 15.18 YM |
| PT | 46.63 YM | PT | 48.07 YM | PT | 64.18 YM | PT | 50.38 YM |
| LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM |
| RK | 9.11 YM | RK | 11.06 YM | RK | 11.52 YM | RK | 10.70 YM |
| RPK | 5.02 YM | RPK | 6.52 YM | RPK | 7.55 YM | RPK | 6.01 YM |
| RUK | 10.03 YM | RUK | 7.16 YM | RUK | 12.28 YM | RUK | 8.59 YM |
| MR1 | 11.9 % | MR1 | 6.3 % | MR1 | 10.1 % | MR1 | 8.4 % |
| MR2 | 78.3 % | MR2 | 80.9 % | MR2 | 78.3 % | MR2 | 80.8 % |
| P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | |
| VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM |
| HOR | 20 % | HOR | 20 % | HOR | 20 % | HOR | 20 % |

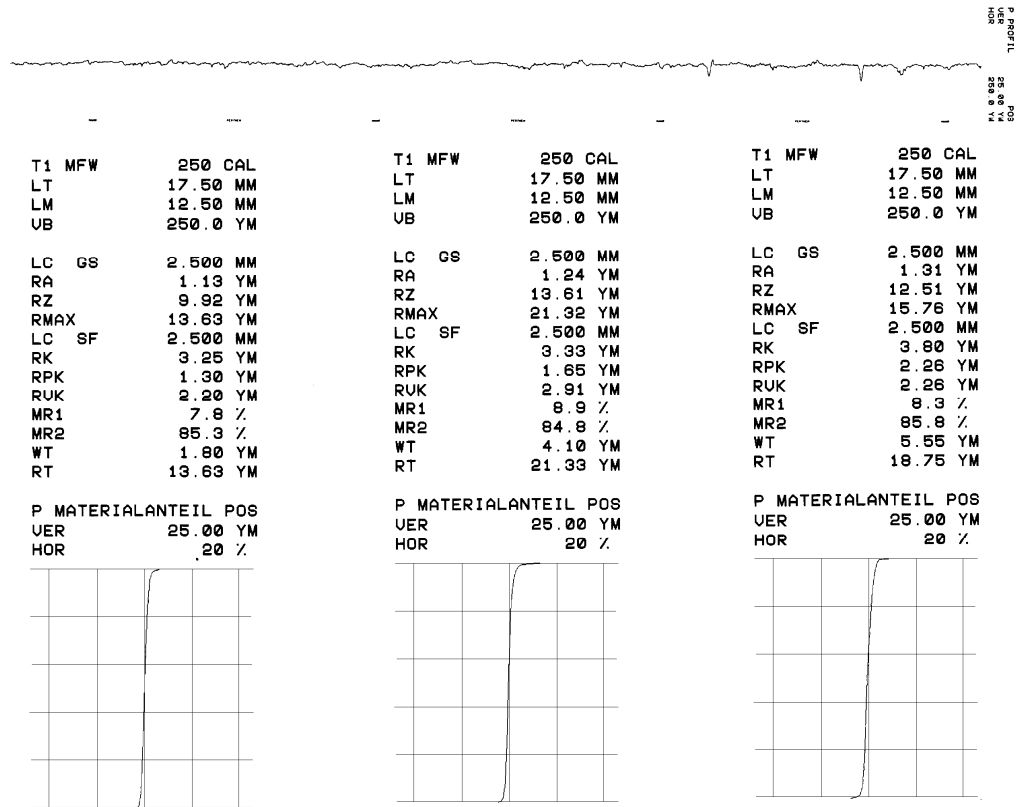


| | | | | | | | |
|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
| T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL |
| LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM |
| LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM |
| UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM |
| LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM |
| RA | 4.01 YM | RA | 4.61 YM | RA | 3.49 YM | RA | 4.29 YM |
| RZ | 33.28 YM | RZ | 41.61 YM | RZ | 30.72 YM | RZ | 35.25 YM |
| RMAX | 38.18 YM | RMAX | 46.37 YM | RMAX | 41.63 YM | RMAX | 53.74 YM |
| RP | 14.16 YM | RP | 17.82 YM | RP | 13.78 YM | RP | 12.56 YM |
| PT | 38.85 YM | PT | 63.86 YM | PT | 54.84 YM | PT | 64.42 YM |
| LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM |
| RK | 9.90 YM | RK | 12.04 YM | RK | 10.48 YM | RK | 9.00 YM |
| RPK | 4.52 YM | RPK | 5.98 YM | RPK | 5.48 YM | RPK | 4.47 YM |
| RUK | 8.88 YM | RUK | 8.77 YM | RUK | 7.03 YM | RUK | 11.52 YM |
| MR1 | 10.6 % | MR1 | 9.6 % | MR1 | 10.9 % | MR1 | 8.9 % |
| MR2 | 80.8 % | MR2 | 82.1 % | MR2 | 88.5 % | MR2 | 76.9 % |
| P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | |
| VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM |
| HOR | 20 % | HOR | 20 % | HOR | 20 % | HOR | 20 % |

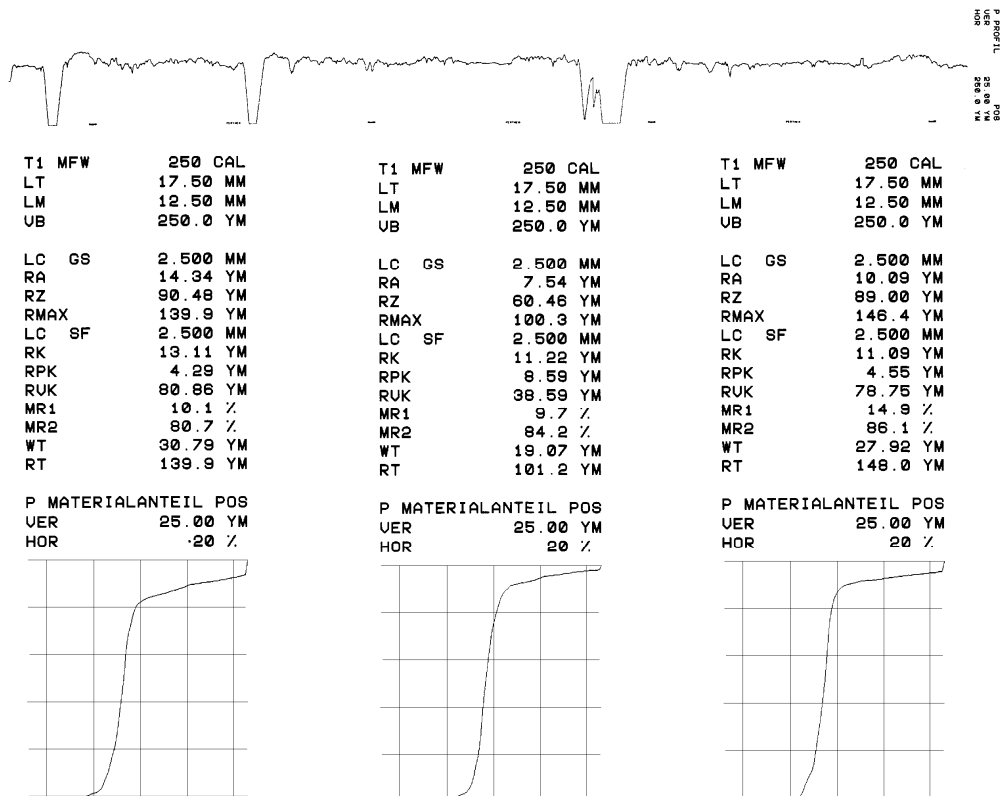


8.6 Kivonat a térfogati sűrűség szerint válogatott próbatestek mérési eredményeiből

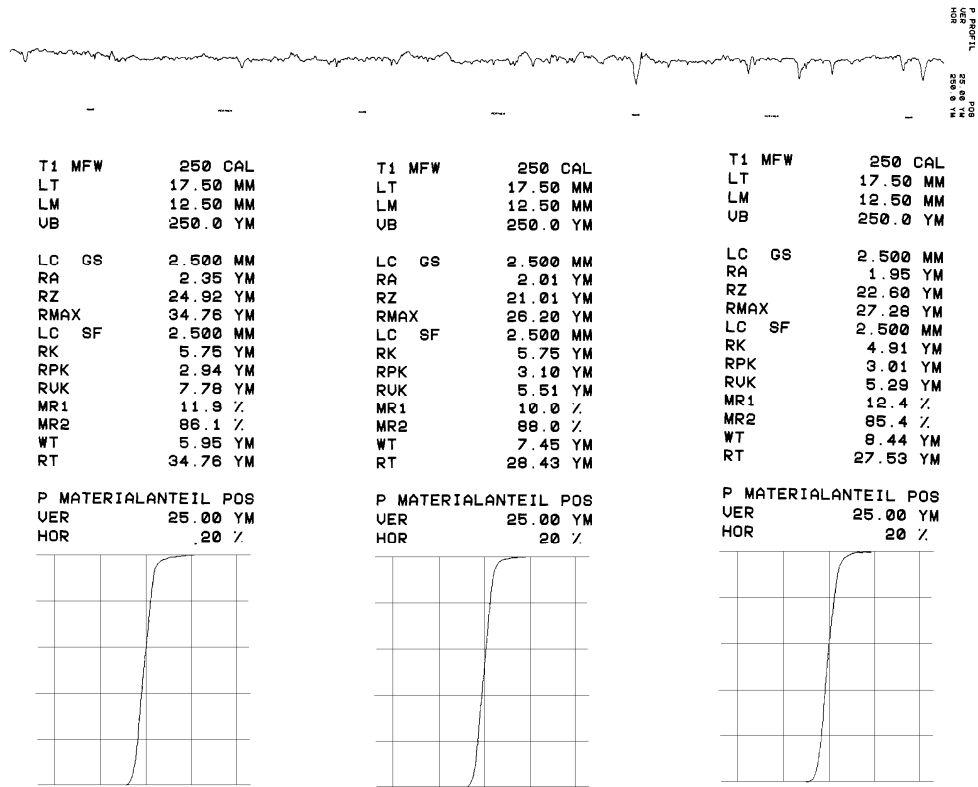
8.6.1 Ébenfa



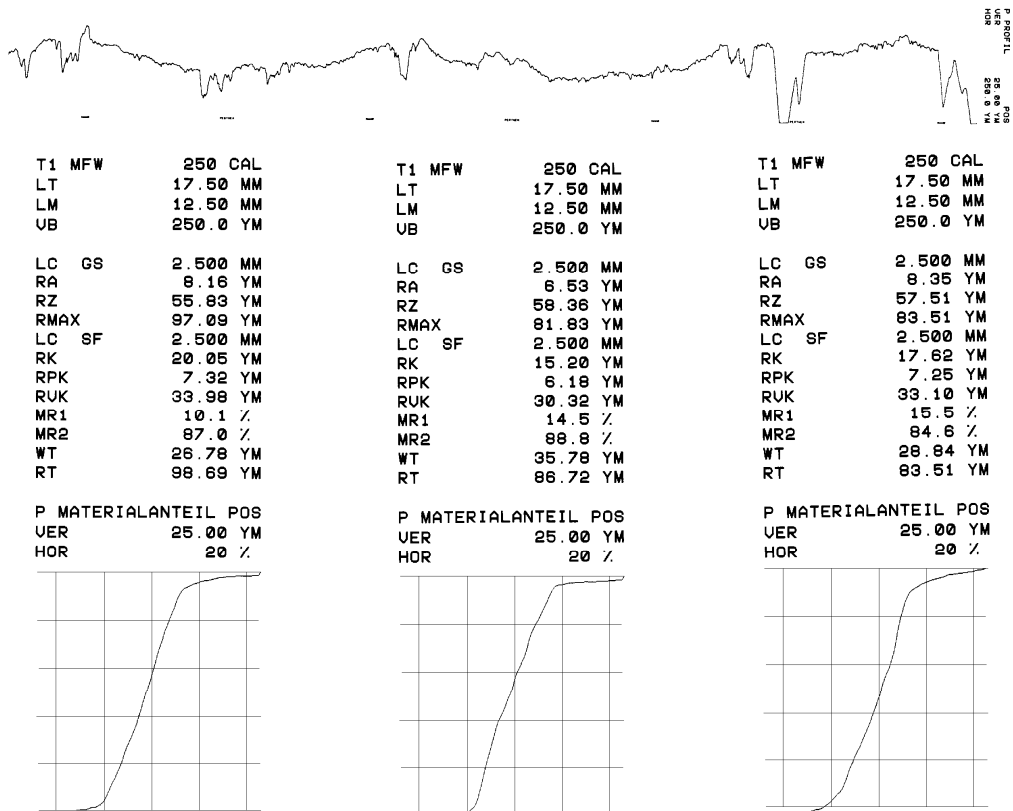
8.6.2 Tölgy



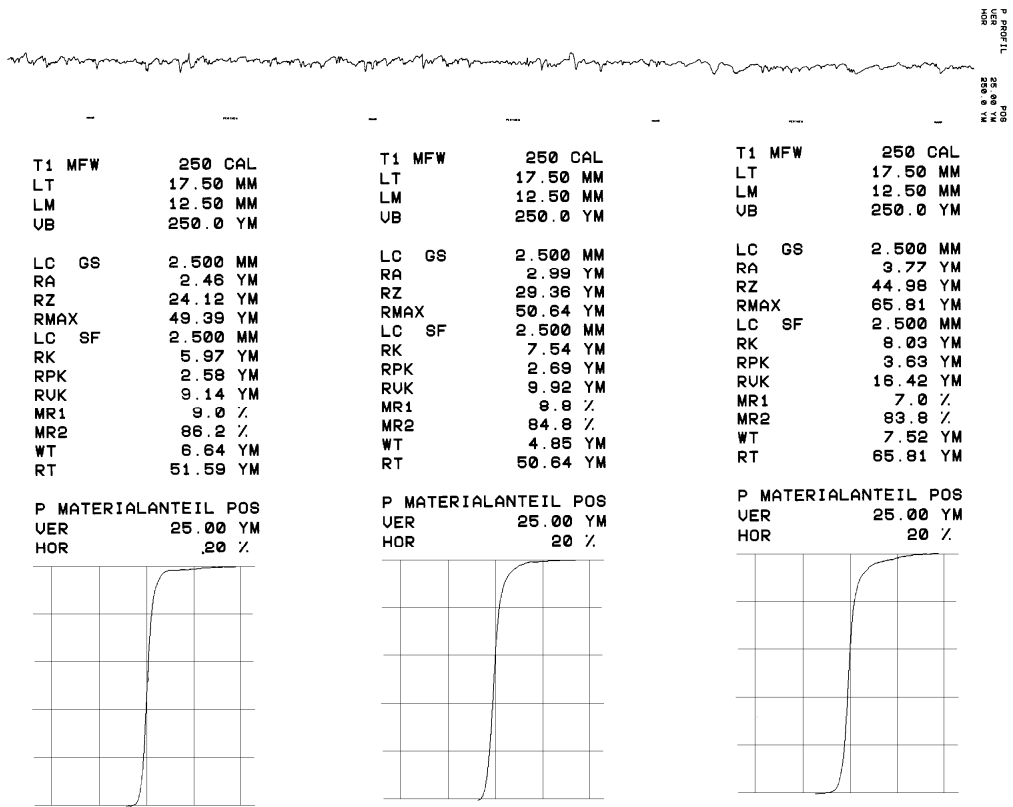
8.6.3 Gyertyán



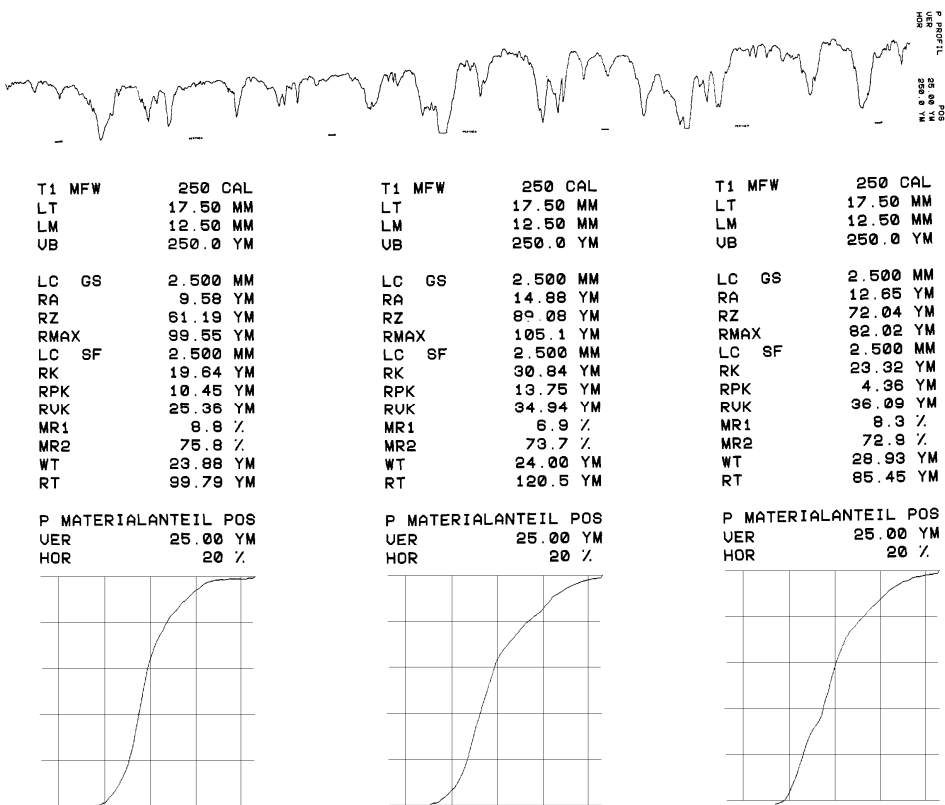
8.6.4 Akác



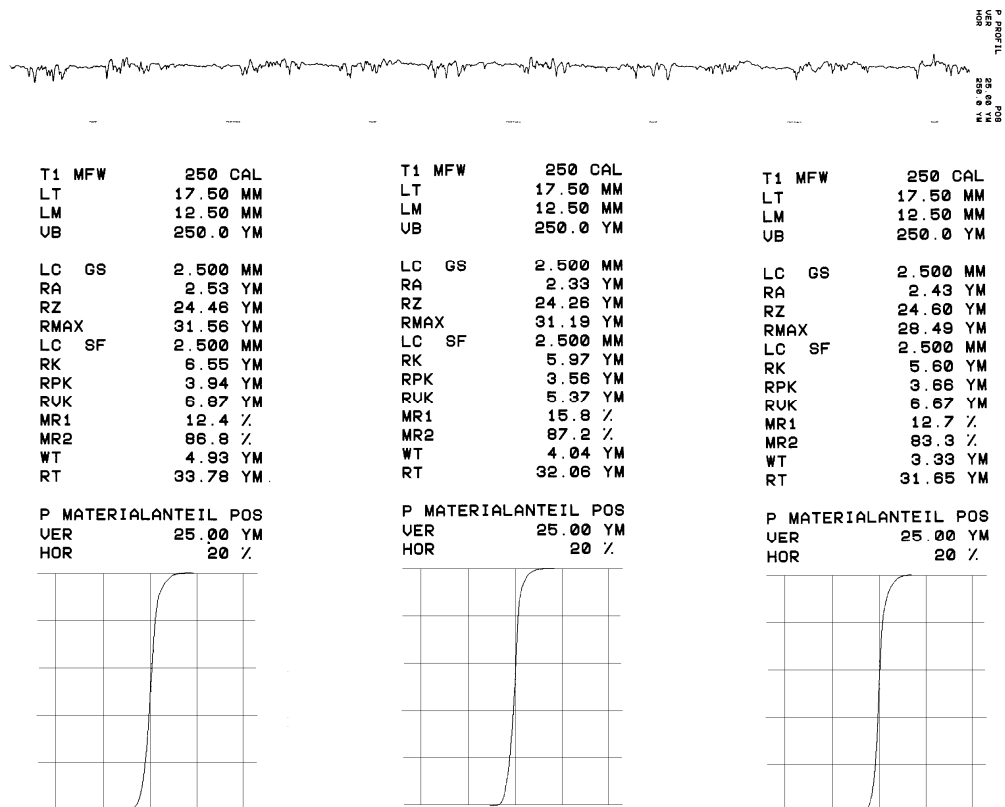
8.6.5 Oregoni mirtusz



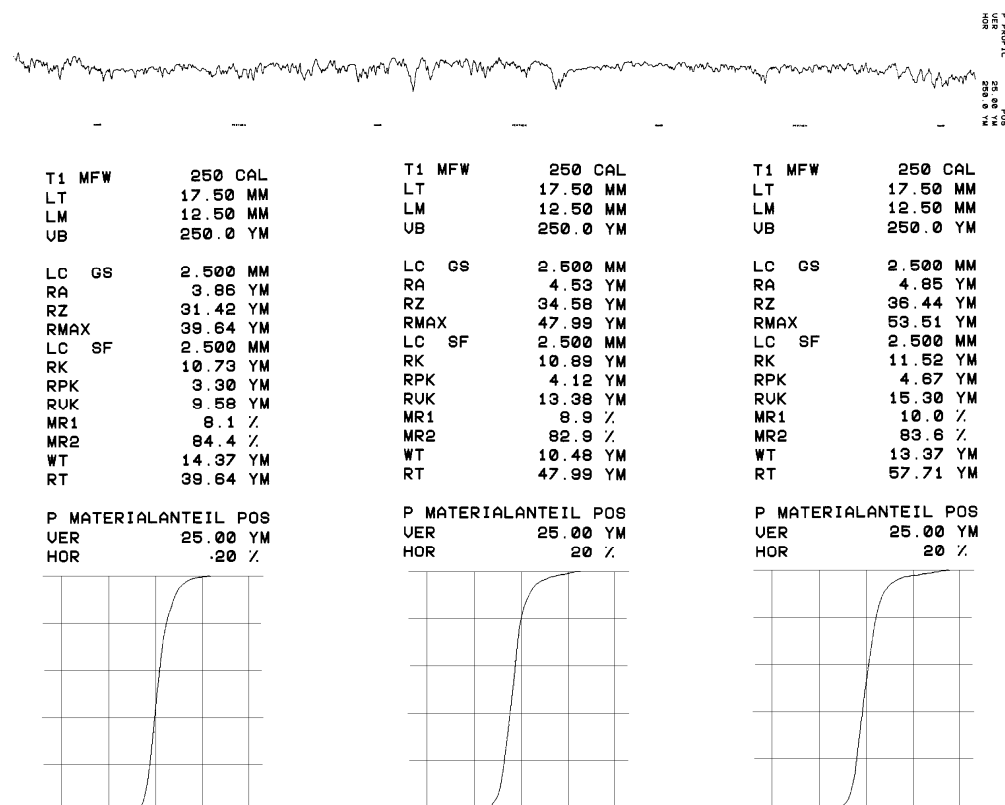
8.6.6 Nyár



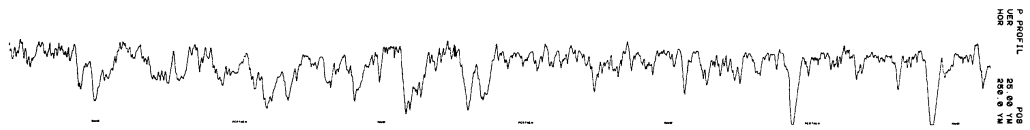
8.6.7 Erdei fenyő



8.6.8 Lucfenyő



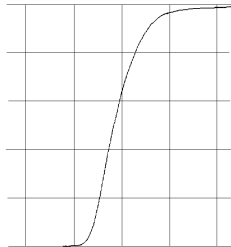
8.6.9 Balsafa



| | |
|--------|----------|
| T1 MFW | 250 CAL |
| LT | 17.50 MM |
| LM | 12.50 MM |
| UB | 250.0 YM |

| | |
|-------|----------|
| LC GS | 2.500 MM |
| RA | 9.32 YM |
| RZ | 66.07 YM |
| RMAX | 108.1 YM |
| LC SF | 2.500 MM |
| RK | 23.74 YM |
| RPK | 5.54 YM |
| RUK | 22.89 YM |
| MR1 | 5.8 % |
| MR2 | 81.6 % |
| WT | 16.48 YM |
| RT | 108.1 YM |

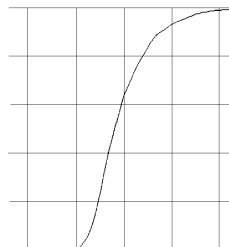
| | |
|----------------------|----------|
| P MATERIALANTEIL POS | |
| UER | 25.00 YM |
| HOR | 20 % |



| | |
|--------|----------|
| T1 MFW | 250 CAL |
| LT | 17.50 MM |
| LM | 12.50 MM |
| UB | 250.0 YM |

| | |
|-------|----------|
| LC GS | 2.500 MM |
| RA | 10.80 YM |
| RZ | 73.75 YM |
| RMAX | 97.73 YM |
| LC SF | 2.500 MM |
| RK | 27.63 YM |
| RPK | 4.88 YM |
| RUK | 26.76 YM |
| MR1 | 5.5 % |
| MR2 | 81.4 % |
| WT | 15.38 YM |
| RT | 102.8 YM |

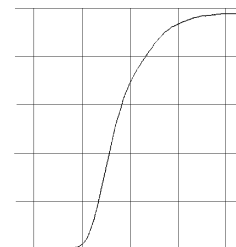
| | |
|----------------------|----------|
| P MATERIALANTEIL POS | |
| UER | 25.00 YM |
| HOR | 20 % |



| | |
|--------|----------|
| T1 MFW | 250 CAL |
| LT | 17.50 MM |
| LM | 12.50 MM |
| UB | 250.0 YM |

| | |
|-------|----------|
| LC GS | 2.500 MM |
| RA | 13.00 YM |
| RZ | 89.23 YM |
| RMAX | 166.3 YM |
| LC SF | 2.500 MM |
| RK | 28.20 YM |
| RPK | 6.47 YM |
| RUK | 43.37 YM |
| MR1 | 6.7 % |
| MR2 | 80.4 % |
| WT | 41.34 YM |
| RT | 166.3 YM |

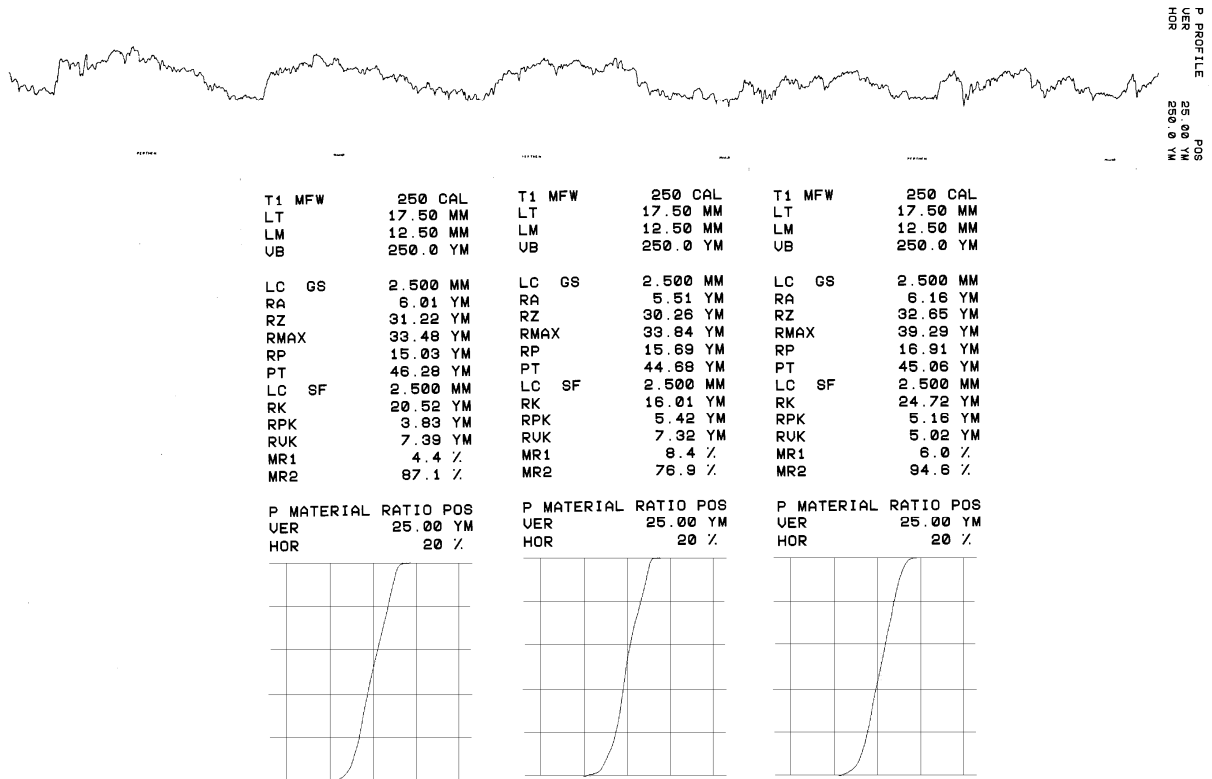
| | |
|----------------------|----------|
| P MATERIALANTEIL POS | |
| UER | 25.00 YM |
| HOR | 20 % |



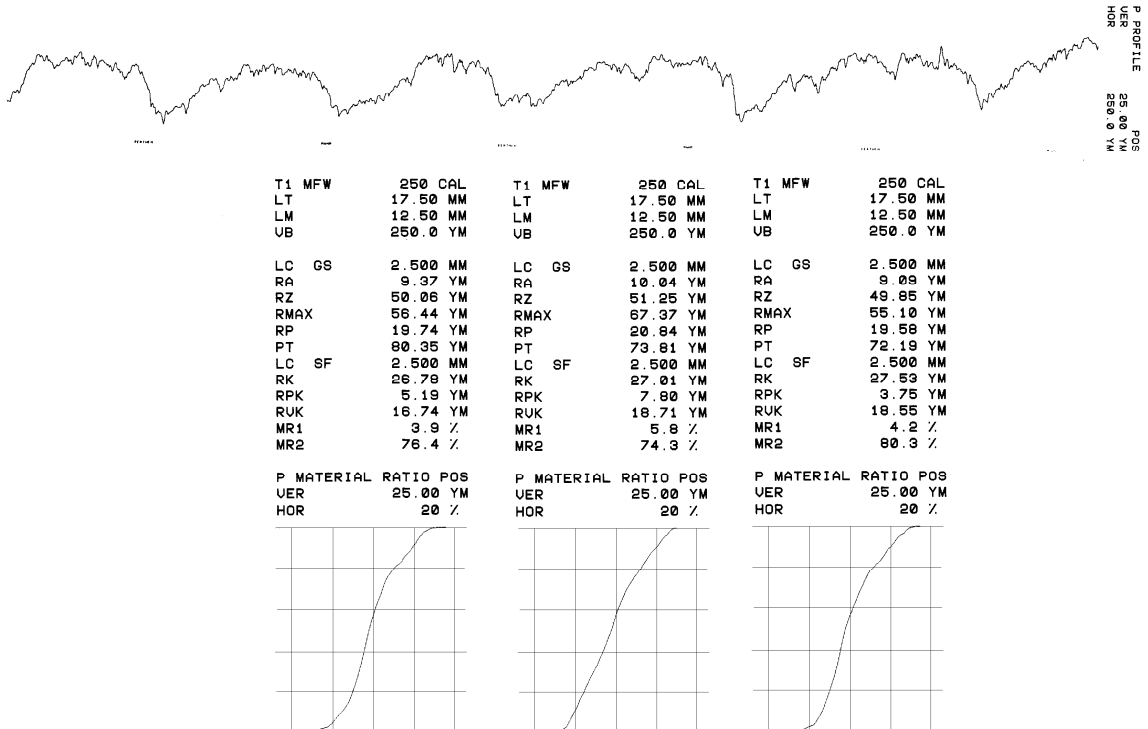
8.7 Kivonat a kopás és felületi érdesség kapcsolatának eredményeiből

8.7.1 Erdei fenyő

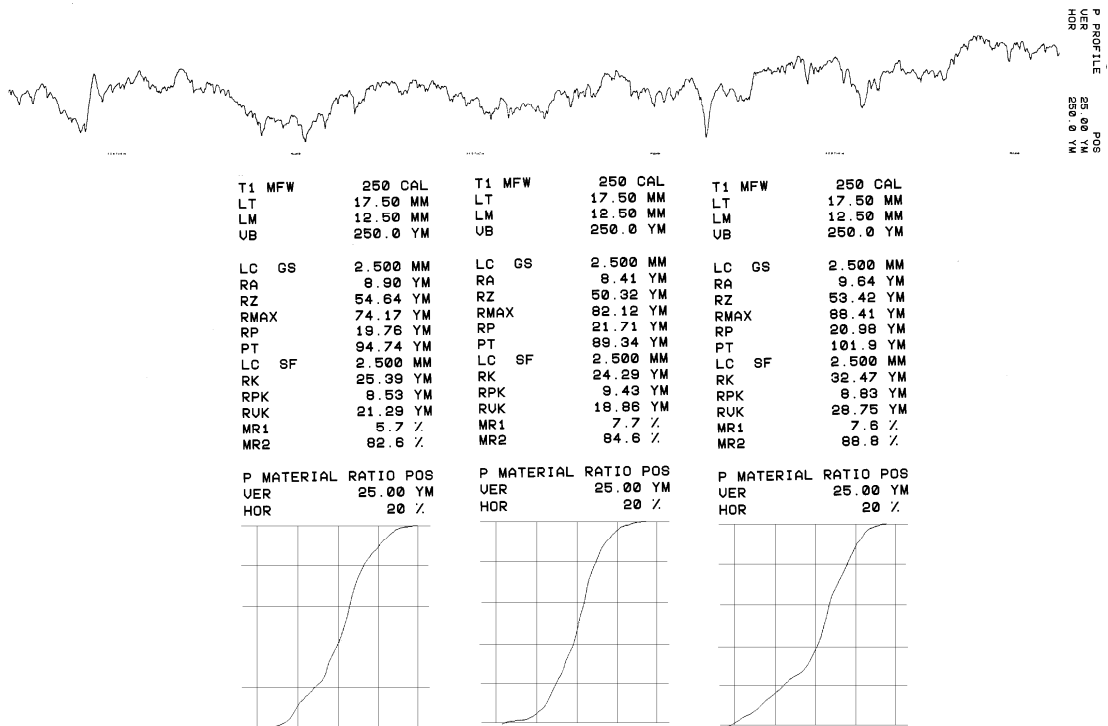
Forgácsolt úthossz: 0 m



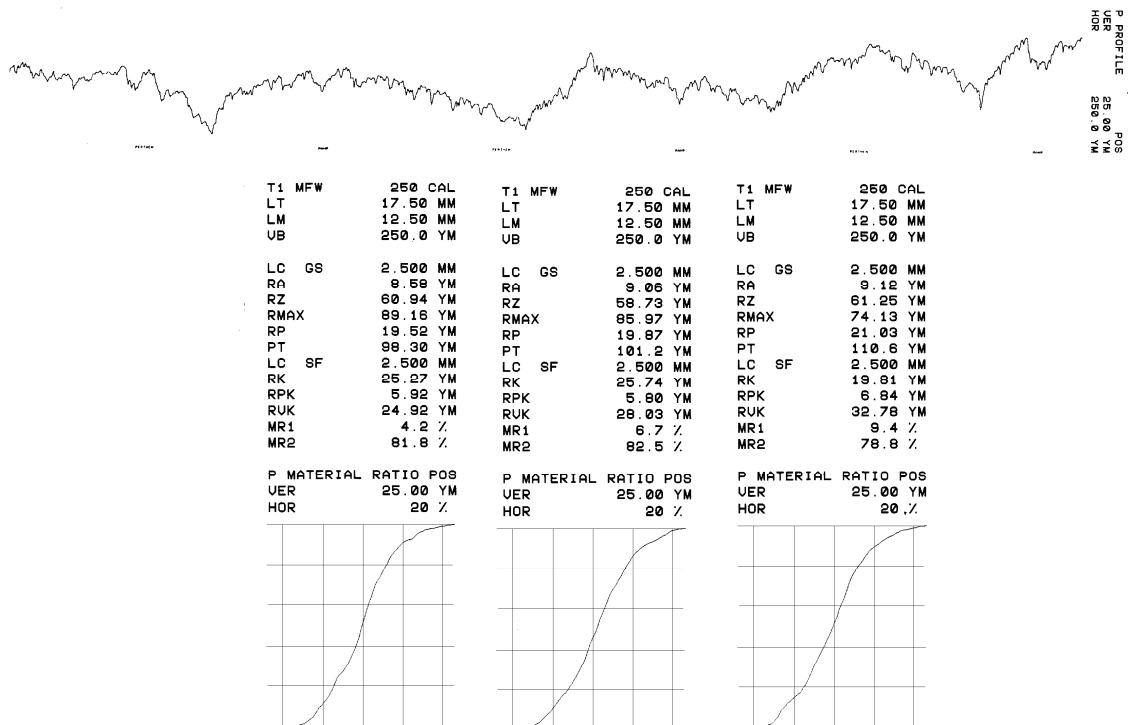
Forgácsolt úthossz: 500 m



Forgácsolt úthossz: 1200 m

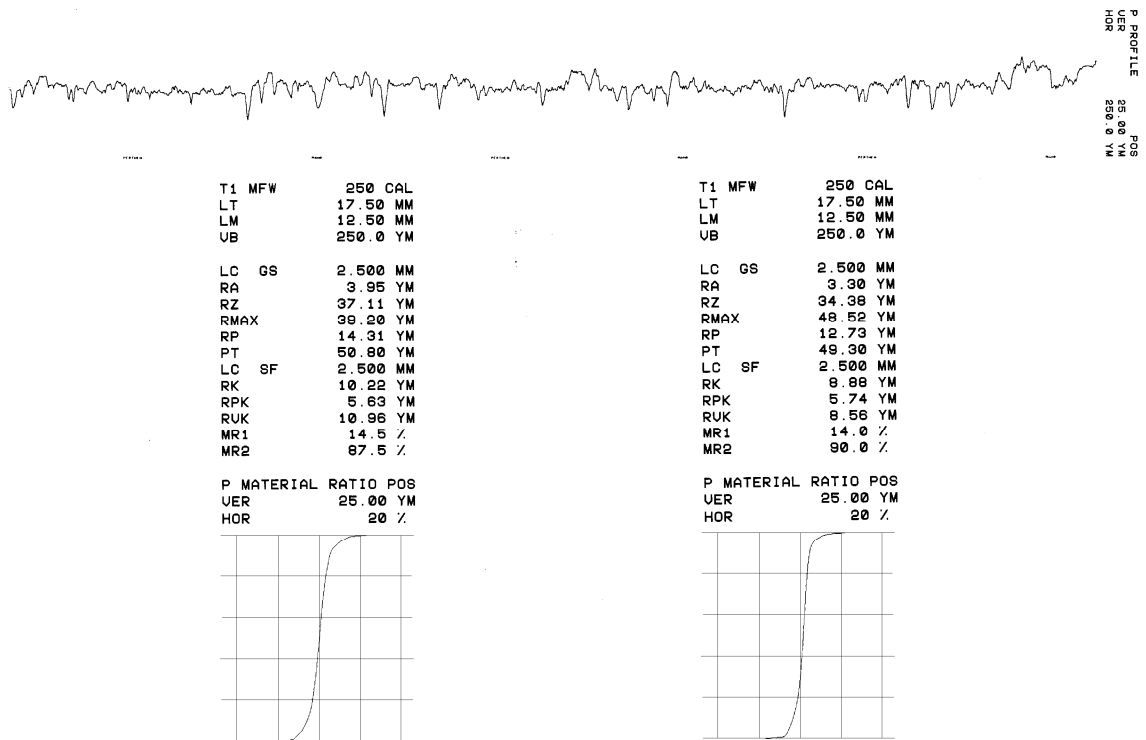


Forgácsolt úthossz: 1800 m

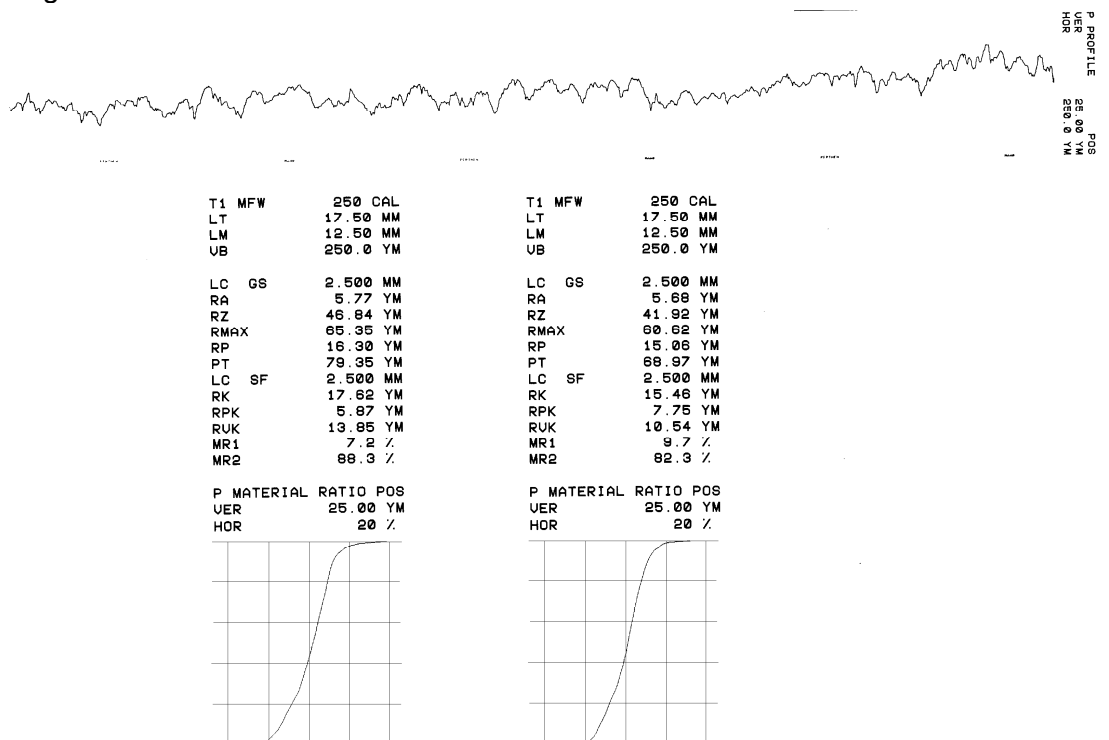


8.7.2 Bükki

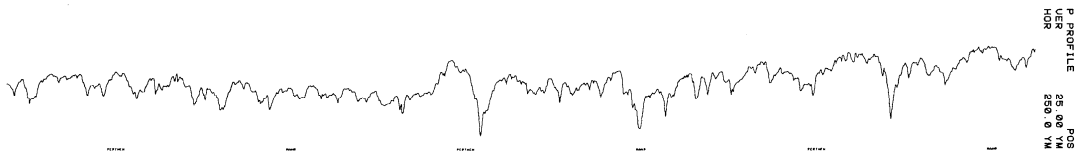
Forgácsolt úthossz: 0 m



Forgácsolt úthossz: 500 m

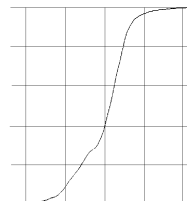
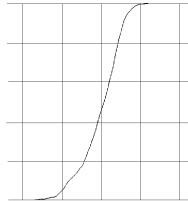


Forgácsolt úthossz: 1200 m

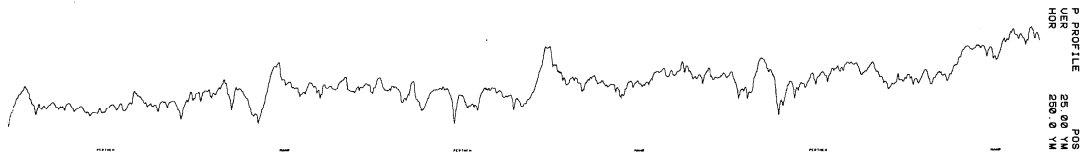


| | | | |
|--------|----------|--------|----------|
| T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL |
| LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM |
| LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM |
| UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM |
| LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM |
| RA | 5.43 YM | RA | 6.16 YM |
| RZ | 36.51 YM | RZ | 50.19 YM |
| RMAX | 52.92 YM | RMAX | 73.55 YM |
| RP | 17.03 YM | RP | 18.07 YM |
| PT | 71.23 YM | PT | 100.0 YM |
| LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM |
| RK | 17.49 YM | RK | 15.67 YM |
| RPK | 7.39 YM | RPK | 7.40 YM |
| RUK | 8.80 YM | RUK | 19.01 YM |
| MR1 | 8.2 % | MR1 | 11.9 % |
| MR2 | 89.4 % | MR2 | 85.2 % |

| | | | |
|----------------------|----------|----------------------|----------|
| P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | |
| VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM |
| HOR | 20 % | HOR | 20 % |

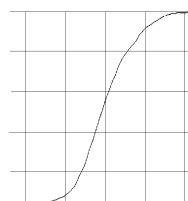
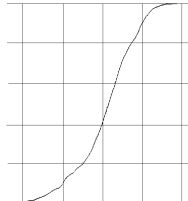


Forgácsolt úthossz: 1800 m



| | | | |
|--------|----------|--------|----------|
| T1 MFW | 250 CAL | T1 MFW | 250 CAL |
| LT | 17.50 MM | LT | 17.50 MM |
| LM | 12.50 MM | LM | 12.50 MM |
| UB | 250.0 YM | UB | 250.0 YM |
| LC GS | 2.500 MM | LC GS | 2.500 MM |
| RA | 7.69 YM | RA | 7.64 YM |
| RZ | 58.24 YM | RZ | 55.10 YM |
| RMAX | 82.38 YM | RMAX | 71.53 YM |
| RP | 24.64 YM | RP | 20.69 YM |
| PT | 93.52 YM | PT | 116.2 YM |
| LC SF | 2.500 MM | LC SF | 2.500 MM |
| RK | 20.25 YM | RK | 23.65 YM |
| RPK | 12.63 YM | RPK | 7.71 YM |
| RUK | 16.77 YM | RUK | 15.81 YM |
| MR1 | 10.3 % | MR1 | 8.1 % |
| MR2 | 89.1 % | MR2 | 87.1 % |

| | | | |
|----------------------|----------|----------------------|----------|
| P MATERIAL RATIO POS | | P MATERIAL RATIO POS | |
| VER | 25.00 YM | VER | 25.00 YM |
| HOR | 20 % | HOR | 20 % |



8.7.3 A mért kopás adatok

$$Y_0=11.65 \mu\text{m}$$

13. táblázat. A mért szerszám él visszahúzódnás átlagos értékei

| | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Forgácsolt úthossz L [m] | 500 | 1200 | 1800 |
| $\bar{\Delta y}$ [μm] | 26.23 | 40.56 | 50.12 |

A megmunkáló NC fájl:

```
%MPF1550
( Prg.neve: Magos Endre )
( Datum:9-01-1999 Day-M-Y )
( MasterCAM VN )
N10 G90 G57 G40 G64 M51
N15 G0 D0 Z240
N20 R998=8 R996=160 R993=3
N25 L899 P1
N30 G55 G0 X0. Y0.
N35 D51 Z200.
*N40 G1 Z150. F1500.0 (Ilyen ciklusokkal halad a szerszám Y350-es értékig)
*N45 X1200. F4000.0
*N50 G0 Z200.
*N55 X0. Y1.
N60 G1 Z150. F1500.0
N65 X1200. F4000.0
N70 G0 Z200.
N75 X0. Y2.
N7050 G0 Z200.
N7055 G0 G57 D0 S0
N7060 X700. Y470.
N7065 M30
```

8.8 Mérési adatok eloszlása erdei fenyő és tölgy fafaj esetén

14. táblázat. R_z mérési adatok szórása két fafaj esetén

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Erdei fenyő | 30.1 | 30.3 | 31.6 | 32.8 | 33.1 | 34.4 | 35.1 | 35.5 | 36.0 | 37.3 | 39.4 | 40.7 | 41.6 | 42.1 | 42.7 | 47.7 |
| Tölgy | 56.6 | 60.5 | 64.1 | 67.2 | 70.7 | 71.5 | 73.1 | 75.6 | 78.8 | 80.3 | 83.2 | 84.3 | 86.0 | 91.2 | 96.7 | 100.3 |

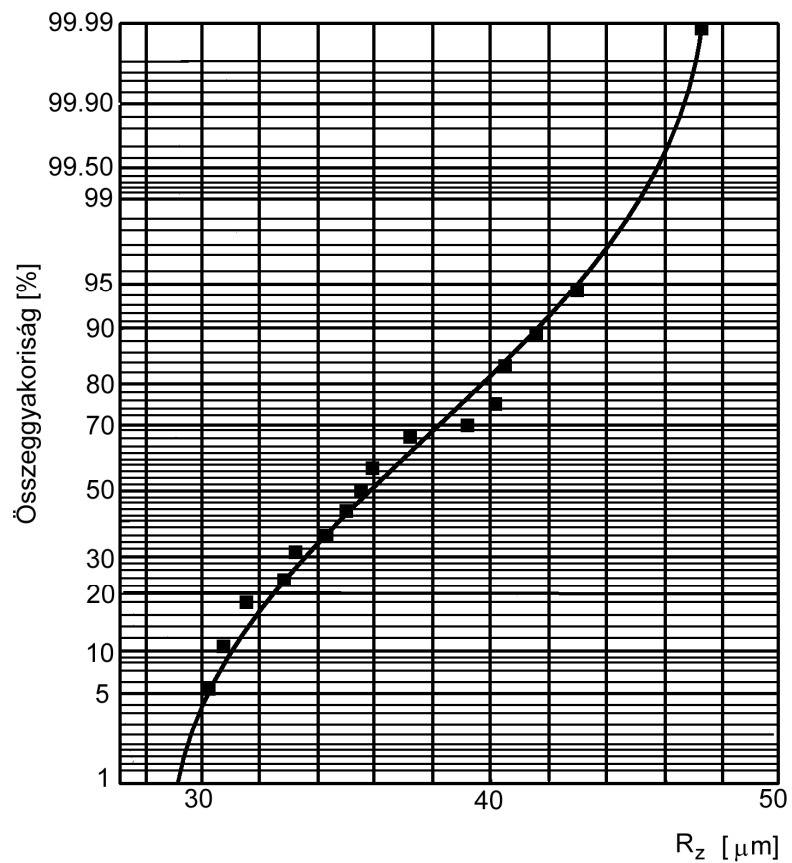
Erdei fenyő: $\bar{X} = 36.9 \mu\text{m}$
 $\sigma = 4.88 \mu\text{m}$

$$\sigma / \bar{X} = 0.1312$$

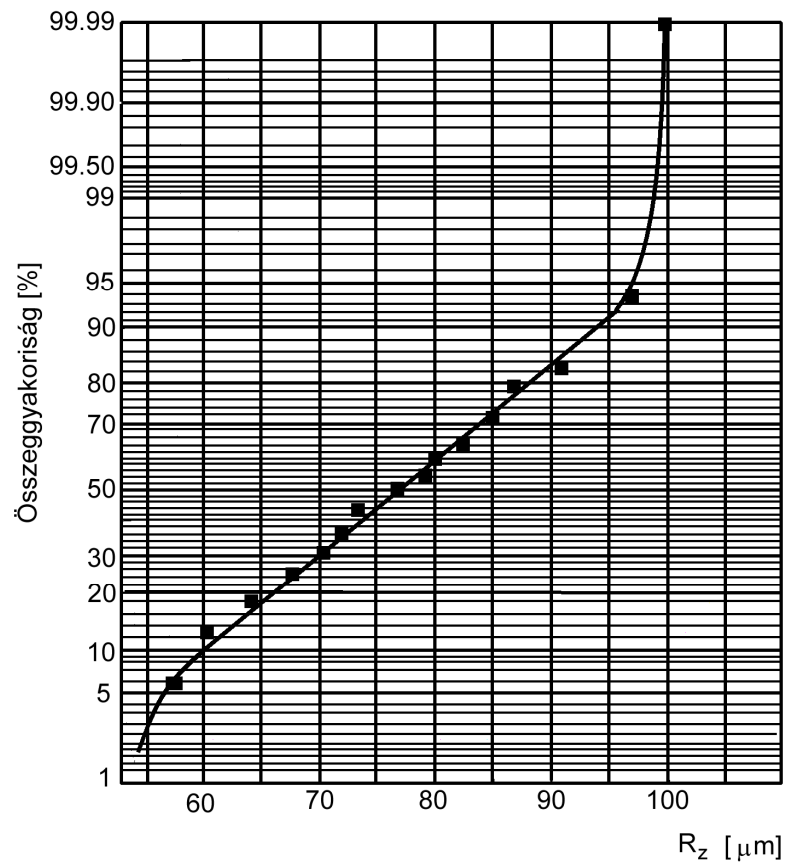
Tölgy: $\bar{X} = 77.5 \mu\text{m}$
 $\sigma = 12.13 \mu\text{m}$

$$\sigma / \bar{X} = 0.1565$$

Az adatok grafikus ábrázolása (53. 54. ábra)



53. ábra. Erdei fenyő R_z értékeinek eloszlása



54. ábra. Tölgy R_z értékeinek eloszlása

8.9 Ábrajegyzék

| | |
|---|----|
| 1. ábra. Az 1-4. fokú alakeltérések értelmezése | 9 |
| 2. ábra. Lokális felületi hiba | 9 |
| 3. ábra. Letapogató csúcs fémfelületen | 10 |
| 4. ábra. A mikro letapogató rendszer felépítése | 10 |
| 5. ábra. Mechanikus tűs letapogató berendezés működési vázlata | 11 |
| 6. ábra. Az előtolóművek leggyakoribb kialakítási módjai | 11 |
| 7. ábra. Lézerfókusz eljárás elvi vázlata | 12 |
| 8. ábra. Triangulációs eljárás elvi vázlata | 12 |
| 9. ábra. Mechanikus szűrés..... | 14 |
| 10. ábra. A felül-, illetve alulvágó szűrő hatása a mért profilra..... | 14 |
| 11. ábra. Aszimmetrikus profil | 15 |
| 12. ábra. Primer profil..... | 15 |
| 13. ábra. Az érdességi profilok összehasonlítása optikai és mechanikus szenzor esetén WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995.) [59] | 18 |
| 14. ábra. A letapogató tú benyomódási mélységének meghatározása WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995.) [59]..... | 19 |
| 15. ábra. A mérési hossz hatása a mérési eredményekre (R_z , R_a és R_{max}) WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995.) [59]..... | 19 |
| 16. ábra. Gyalukés ciklois pályája. SITKEI (1994) [53] | 20 |
| 17. ábra. „Eltűnő” megmunkálási hullám a zavaró rezgés hatására HEISEL, KRONDORFER (1996) [15] | 20 |
| 18. ábra. Ferde megvilágításos mérőberendezés elrendezési vázlata HOFFMEISTER, GRÜBLER (1999) [27] | 21 |
| 19. ábra. A mechanikus tűs letapogató és a ferde megvilágításos CCD képfeldolgozós rendszer hullám profiljának összehasonlítása HOFFMEISTER, GRÜBLER (1999) [27] | 22 |
| 20. ábra. Erdei fenyő mart felületének P (valóságos) profilja ellen- illetve egyen irányú forgácsoláskor, kopott szerszám esetén KISSELBACH SCHADOFFSKY (1996) [33] | 22 |
| 21. ábra. Felület 3 D-s mérésének elrendezési vázlata SCHADOFFSKY (1996) [51].. | 23 |
| 22. ábra. A megmunkálási és az anatómiai érdesség szétválasztása SCHADOFFSKY (1996) [51] | 24 |
| 23. ábra. Az évgyűrű kifutás hatása a felületi profilra kopott szerszám esetén KISSELBACH, SCHADOFFSKY (1996) [33]..... | 25 |
| 24. ábra. Próbatetek kivágásának módja | 28 |
| 25. ábra. Reichenbacher RANC AMW típusú CNC felsőmarógép | 29 |
| 26. ábra. Mahr S3 P típusú tűs letapogató berendezés | 30 |
| 27. ábra. LEITZ LABORLUX S Fénymikroszkóp Quantiment 500-as képfeldolgozó rendszerrel..... | 30 |
| 28. ábra. CARL ZEISS univerzális szerszám mikroszkóp..... | 31 |
| 29. ábra. Tűhúzási pályák a próbatetek felületén | 33 |
| 30. ábra. Lépcsőzetesen megmunkált próbatetek | 34 |
| 31. ábra. Az él visszahúzó hatás mérésének elve | 36 |
| 32. ábra. Átvágott edény hatása az érdességi jellemzőkre tölgy fafaj esetén | 41 |
| 33. ábra. MDF lapok felületi jellemzőinek változása a térfogati sűrűség függvényében homlokmarás esetén DEVANTIER, B.-EMMLER, R 1996. [4]..... | 42 |
| 34. ábra. A vágási sebesség hatása egyes felületi minőségi paraméterekre erdei fenyő esetén..... | 44 |
| 35. ábra. A vágási sebesség hatása egyes felületi minőségi paraméterekre bükk esetén..... | 44 |
| 36. ábra. Az R_z érdességi paraméter változása a forgácsolási irány és a faanyag szálirány közötti szög változása függvényében..... | 45 |

| | |
|---|-----|
| 37. ábra. Az $R_p/(R_z/2)$ érdességi paraméter változása a forgácsolási irány és a faanyag szálirány közötti szög változása függvényében..... | 46 |
| 38. ábra. Tölgy fafaj P profiljának részlete..... | 47 |
| 39. ábra. Az $SN=nd^2/L$ struktúra szám és az Abbott-görbe paramétereinek összefüggése..... | 48 |
| 40. ábra. Fa felületi modellje | 49 |
| 41. ábra. A struktúraszám (ΔF) és az R_z paraméter összefüggése különböző fafajú próbatestek esetén | 51 |
| 42. ábra. Bükk fafaj P profiljának részlete..... | 52 |
| 43. ábra. $(R_{pk}+R_k+R_{vk})$ összevont paraméter összefüggése az R_a értékkel..... | 53 |
| 44. ábra. $(R_{pk}+R_k+R_{vk})$ és az R_z paraméter összefüggése különböző fafajok és az MDF lap esetén | 53 |
| 45. ábra. A térfogati sűrűség és az R_{pk} érték kapcsolata | 55 |
| 46. ábra. Az R_z paraméter és az ún. anyagihiány összefüggése | 56 |
| 47. ábra. Tompa szerszám él által okozott felületi roncsolódás FISCHER, R. 1993. [9] | 57 |
| 48. ábra. A forgácsolt úthossz és az R_z paraméter összefüggése erdei fenyő és bükk fafajok esetén | 58 |
| 49. ábra. Az él lekerekítési sugara és az R_z paraméter összefüggése erdei fenyő és bükk fafajok esetén..... | 58 |
| 50. ábra. Egyes fafajok R_k értékének változása éles és tompa szerszám él hatására . | 60 |
| 51. ábra. Tölgy felület profilja kopott szerszámmal megmunkálva | 60 |
| 52. ábra. Az edény és rost belső átmérők, és fajlagos darabszámuk négy fafaj esetén | 90 |
| 53. ábra. Erdei fenyő R_z értékeinek eloszlása | 110 |
| 54. ábra. Tölgy R_z értékeinek eloszlása..... | 111 |

8.10 Táblázatjegyzék

| | |
|---|-----|
| 1. táblázat. Alakeltérések felosztása (DIN 4760) | 8 |
| 2. táblázat. Felület érdesség mérési eljárások WESTKÄMPER, SCHADOFFSKY (1995) [59] | 9 |
| 3. táblázat. Felület letapogató mérőberendezések jellemzői DEVANTIER, EMMLER (1996.) [4] | 13 |
| 4. táblázat. Felületi jellemzők (DIN EN ISO 4287) | 16 |
| 5. táblázat. Felületi jellemzők változása különböző profilok esetében SANDER (1993.) [50] | 17 |
| 6. táblázat. Anatómiai érdesség értékek SCHADOFFSKY (1996) [51] | 24 |
| 7. táblázat. A fafajra jellemző Abbott-görbék | 37 |
| 8. táblázat. Mérési eredményeket befolyásoló hibák | 40 |
| 9. táblázat. A modell számítások eredményei..... | 43 |
| 10. táblázat. A számításokhoz használt anatómiai jellemzők átlag méreteinek összefoglaló táblázata | 50 |
| 11. táblázat. Az $R_z - R_k - R_{vk}$ közötti összefüggések a mérések alapján különböző fafajokra..... | 54 |
| 12. táblázat. Erdei fenyő és bükk Abbott-görbéje éles és kopott szerszámél esetén ... | 59 |
| 13. táblázat. A mért szerszám él visszahúzódnás átlagos értékei | 109 |
| 14. táblázat. R_z mérési adatok szórása két fafaj esetén..... | 110 |

9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a munka a Nyugat-Magyarországi Egyetem Soproni Egyetemi Karok Faipari Mérnöki Karának Faipari Gépészeti Intézetében íródott. Ezúton is köszönöm minden közvetett és közvetlen munkatársam segítségét, kik bármilyen mértékben és formában segítettek munkámat.

Különös köszönettel tartozom Dr. Sitkei György Professzor Úrnak témavezetőmnek, szakmai segítségéért és emberi megértéséért. Hatalmas szakmai tudása hathatós támogatást nyújtott a megoldhatatlannak tűnő problémák felmerülése esetén is.

Továbbá külön köszönet illeti Dr. Csanády Etelét és Lőrinczi Krisztiánt, a forgácsolási kísérletekben nyújtott segítségükért.

A szakmai segítség mellett ki kell emelnem, a baráti és családi segítséget, ami nélkül a mai világban egy ilyen dolgozat, a sok lemondás miatt roppant nehezen készíthető el. A baráti segítségért köszönettel tartozom egykori és jelenlegi barátaimnak: Hodász Eszternek, Birkás Józsefnek, Klinger Zoltánnak, Előházi Róbertnek és Ivánovics Gergőnek, hogy lelki támogatást nyújtottak, elfogadtak, s talán elviseltek....meg mindenkinek, aki meg van sértődve, mert nincs itt a neve.

Örök hála: édesanyámnak, édesapámnak, bátyámnak és családjának, és rokonaimnak, akik a nagy távolság ellenére erejükön felül teljesítettek, támogattak, hogy ezt a dolgozatot elkészíthessem.

KÖSZÖNÖM SZÉPEN!!

Magoss Endre

Sopron, 2000-02-07.