

DOKTORI (Ph.D) ÉRTEKEZÉS

CSIHA CSILLA

**Nyugat-Magyarországi Egyetem
Faipari Mérnöki Kar**

2003

CSIHA CSILLA

FAANYAGOK FELÜLETI ÉRDESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA „P” ÉS „R” PROFILON, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A NAGYEDÉNYES FAJOKRA

Doktori (Ph.D) értekezés

Témavezető:
Dr.habil Szabó Imre
egyetemi tanár

Nyugat-Magyarországi Egyetem
Faipari Mérnöki Kar

2003

Tartalomjegyzék

<i>Jelölések jegyzéke</i>	6
<i>Felületi jellemzők</i>	7
1. Bevezetés	9
2. A felület geometriájának meghatározására alkalmas eljárások és műszerek	11
2.1. A magyar szabványok tükrében	11
2.1.1. Az optikai elvet alkalmazó módszerek és műszerek:.....	11
2.1.1.1. Fénymetszéses (Schmaltz-féle) felületvizsgálati módszer	11
2.1.1.2. Az interferenciás (interferencia mikroszkópos) felületvizsgálati módszer ..	12
2.1.2. A metszetaipintós és grafikus profilrögzítő műszer:.....	12
2.1.3. A szabványok áttekintése nyomán levont következtetések:.....	12
2.2. A szakirodalom tükrében	13
2.2.1. A pneumatikus, légréses módszer.....	13
2.2.1.1. A túlnyomásos felületi érdességmérő készülék	13
2.2.1.2. A vákuumos felületi érdességmérő készülék.....	13
2.2.1.3. Pneumatikus profilmérő módszer	14
2.2.2. A kapacitív módszer	14
2.2.3.1. A lézerfókusz eljárás	15
2.2.3.2. A diffúz reflexiós módszer	15
2.2.5. Lézer interferométeres mérési módszer.....	16
2.2.6. A tapintócsúcsos érdességmérő eljárás	16
2.2.7. Nagyon kis érdesség mérésére alkalmas berendezések.....	17
2.2.8. Összefoglalás	17
3. Vizsgálati eredmények a szakirodalomban	19
3.1. A tapintótű, a mérési hossz és a megmunkálás hatása az érdességre	19
3.1.1. A tú benyomódási mélysége	19
3.1.2. Az ismétlődő mérések	19
3.1.3. A mérési hossz hatása a mérési eredményre.....	20
3.1.4. A megmunkálás hatása	20
3.2. Mart felületek	21
3.2.1. A deformációs zóna.....	21
3.2.2. A „jointolás”	22
3.2.3. A vágási irány hatása.....	22
3.2.4. A vágási sebesség hatása	23
3.2.5. A szerszámél állapotának hatása.....	23
3.2.6. A megmunkáló szerszám paraméterei.....	24
3.2.7. A forgácsolási sebesség hatása	25
3.2.8. Az egyen - és ellenirányú forgácsolás.....	25
3.2.9. A megmunkáló berendezés rezgésének hatása	26
3.2.10. A termosimítás (vasalás)	27
3.2.11. A fazettázott él hatása.....	27
3.2.12. A mérések rosttal bezárt szöge.....	28
3.2.13. A vizezés hatása	29
3.3. Csiszolt felületek	30
3.3.1. Minőségi kritériumok csiszolt mintákra.....	30
3.3.2. A tapintótűs érdességmérés összehasonlítása a tapintással, csiszolt mintákon	31
3.3.3. A mesterséges öregítés hatása, csiszolt mintákon.....	31
3.4. Következtetések a szakirodalom feldolgozása nyomán	32

4. Kutatási célkitűzések.....	34
5. A kísérletek programja és metodikája.....	37
5.1. A próbatestek kiválasztása, jellemzése, előkészítése	39
5.1.1.1. Fehér akác (Robinia pseudo-acacia).....	39
5.1.1.2. Kocsánytalan tölgy (Quercus petraea).....	39
5.1.1.3. Magas kőris (Fraxinus excelsior L.).....	40
5.1.1.4. Bükk (Fagus silvatica L.).....	40
5.2. A mérőműszer és a mérés módja	41
5.2.1. A választott mérőműszer: Perthometer S3P szerkezeti részei (Sander, 1991)	41
5.2.1.1. Az előtolómű.....	41
5.2.1.2. A meghajtó egység	41
5.2.1.3. Az erősítő.....	41
5.2.1.4. Az elektromos szűrő	41
5.2.1.5. A számítógép	42
5.2.1.6. A mérőműszer kiegészítése	42
5.2.2. A mérés módja	43
5.2.2.1. Az azonos nyomban végzett mérések.....	43
5.2.2.2. A különböző szemcsefinomsággal csiszolt minták.....	43
5.2.2.3. Összehasonlítás más programmal	43
5.2.2.4. Kézi csiszológépen és kontaktsziszolón előállított minták R_z és P_z értékeinek összehasonlító vizsgálata	43
5.3. A mérendő felületek kialakítása	44
5.4. A kiértékelés menete	44
5.5. A kísérletek körülményei	44
6. A kutatómunka eredményei, a mérési eredmények kiértékelése	45
6.1. Előzetes vizsgálatok.....	45
6.1.1. A mérési hiba.....	45
6.1.2. Mérés a hagyományos eljárással.....	45
6.1.2. Mérés a hagyományos eljárással.....	46
6.1.2.1. A mért profil	46
6.1.2.2. A W profil.....	46
6.1.2.3. A profilszűrés.....	47
6.1.2.4. A W profil előállítása	48
6.1.2.5. A Gauss szűrő kedvezőtlen kísérő jelenségei	49
6.1.2.6. Az alapszövet robusztus Gauss regressziós hullámösszetevője.....	50
6.2. Az edények kiszűrésére kidolgozott módszer	52
6.2.1. Érvek az edények kiszűrése mellett	52
6.2.2. Az edények kiszűrésének elvi megfontolásai	53
6.2.3. A szűrés lépései.....	55
6.2.4. A harmadik lépésben megvalósuló szűrés értékelése	55
6.2.5. A szűrés optimalizálása	56
6.2.6. Az adatok helyettesítése	57
6.2.7. Az edényszűréssel nyert R és P profilok	57
6.2.7.1. A robusztus Gauss szűrővel előállított R profil	58
6.2.7.2. A P profil bevonása a vizsgálatokba	58
6.2.8. Paraméterek hozzárendelése a P és W profilhoz	59
6.3. Az edények szűrésére kidolgozott eljárás összevetése a már létező változatokkal.....	60
6.3.1. A Fujiwara által publikált eljárás	60
6.3.1.1. Az eljárás elemzése	60

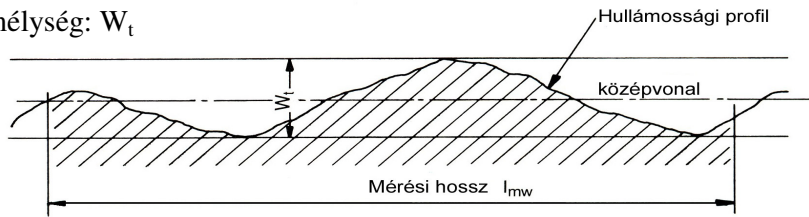
6.3.2. A Mahr számítógépes programja edények szűrésére	61
6.4. Az azonos nyomban végzett mérések értékelése	62
6.5. A különböző profilok érdességének kiértékelése, az edények szűrése után.....	64
6.5.1. Különböző szemcsefinomsággal csiszolt P profilok kiértékelése az edények szűrése után	64
6.5.1.1. A bükk minta „P _z ” érdessége	64
6.5.1.2. Az Akác, Tölgy, Nyír és Kőris minták „P _z ” érdessége edényszűrés után....	65
6.5.2. Különböző szemcsefinomsággal csiszolt minták R profiljainak kiértékelése az edények szűrése után.....	69
6.5.2.1. A bükk minta R _z érdessége	69
6.5.2.2. Az Akác, Tölgy, Nyír és Kőris minták R _z érdessége edényszűrés után.....	70
6.5.3. Különböző berendezésen azonos szemcsefinomsággal kialakított felületek P és R profiljának kiértékelése, a hullámparaméter figyelembe vételével.....	74
6.5.4. A P _z /R _z értékek és a hullámosság W _z értékeink összefüggése	76
6.5.4.1. A bükk minta P _z /R _z és W _z értékei	76
6.5.4.2. Akác, Tölgy, Kőris és Nyír minták P _z /R _z és W _z értékei.....	77
6.5.5. A minták mért és számított P _z értékeinek összehasonlítása	79
6.5.6. A vizsgálatok tapasztalatainak összefoglalása.....	82
6.6. Kitekintés.....	83
7. Tézisek.....	85
Irodalomjegyzék	86
8. Mellékletek	91
1. számú melléklet	92
2. számú melléklet	93
3. számú melléklet	94
4. számú melléklet	146
5. számú melléklet	147
9. Köszönetnyilvánítás	148

Jelölések jegyzéke

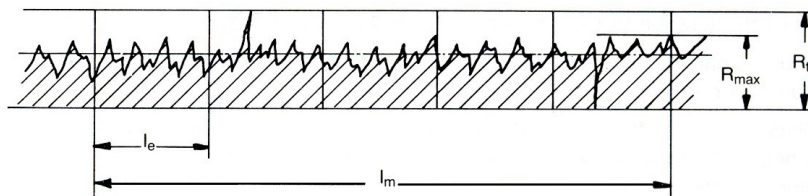
Jele	Jelentése
l_e	alaphossz (MSZ 4721/1-86)
l_t	mérési hossz (MSZ 4721/1-86)
l_v	előmérési szakasz
l_n	utómérési szakasz
l_m	kiértékelési szakasz
P-profil	elsődleges profil
D-profil	direkt profil
W-profil	hullámosság profil
R-profil	érdességi profil
P_t	profil magasság
R_c	közepes egyenetlenség magasság
R_z	egyenetlenség magasság (MSZ 4722-84) (MSZ 4721/1-86)
R_{max}	legnagyobb egyenetlenség mélység (MSZ 4721/1-84)
R_a	átlagos érdesség
t_p	viszonylagos hordozóhossz (4721/1-86)
C	a profilmetszés szintje (MSZ 4722-84)
R_t	maximális egyenetlenség (MSZ 4722-84)
R_p	a középvonaltól mért legnagyobb egyenetlenségmagasság
R_m	a középvonaltól mért legnagyobb egyenetlenségmélység
F	a statikus mérőerő (MSZ 96-56-1988)
F_{smax}	a tapintócsúcs középhelyzetében a statikus mérőerő maximuma (MSZ 96-56-1988)
R_{pk}	a profil csúcsrész értéke
R_{vk}	a profil mélyrész értéke
R_k	a profil magrész értéke
M_{r1}	csúcsokhoz viszonyított anyagkitöltés hányad
M_{r2}	árkokhoz viszonyított anyagkitöltés hányad
W_t	hullámmélység

Felületi jellemzők

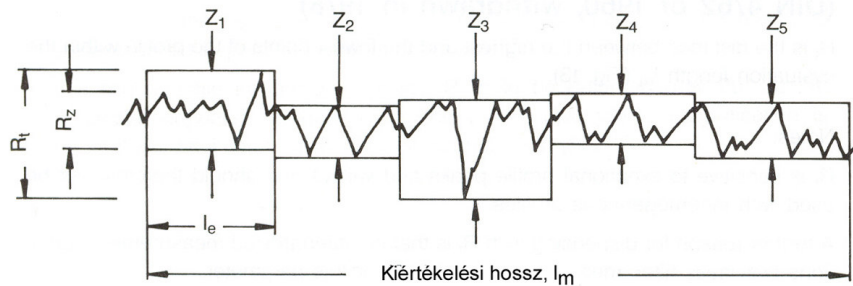
Hullám mélység: W_t



Maximális egyenetlenség: R_t és legnagyobb egyenetlenség mélység: R_{max}



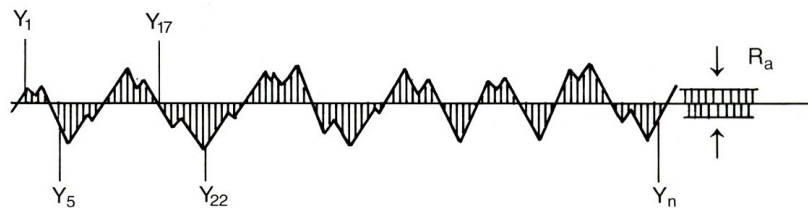
Egyenetlenség magasság: R_z



$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

$$R_{max} = Z_3$$

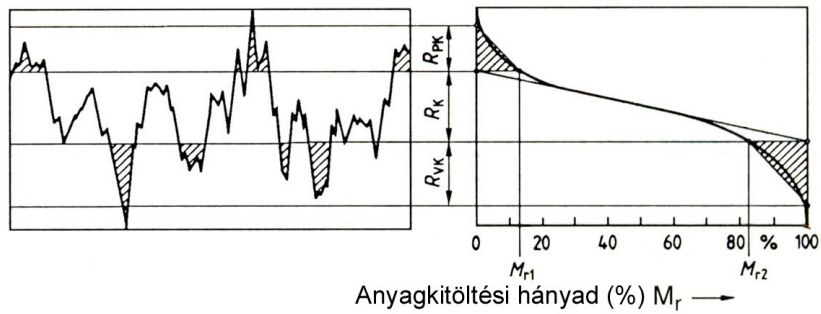
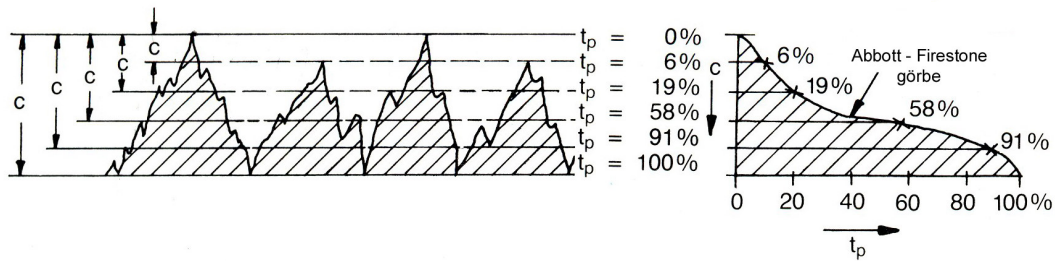
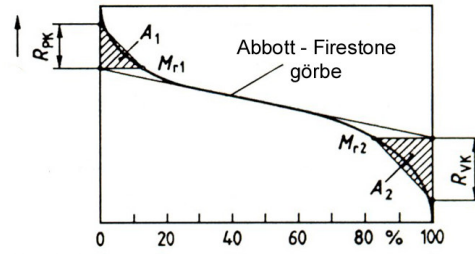
Átlagos érdesség: R_a



$$R_a = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_n}{n}$$

Az Abbott görbe és jellemzői:

- R_{pk} : a profil csúcsrész értéke
- R_{vk} : a profil mélyrész értéke
- R_k : a profil magrész értéke
- c : a profilmetszés szintje



1. Bevezetés

A finoman megmunkált (gyalult, csiszolt) fafelületek érdességének objektív meghatározása a végtermék konstans, jó minőségének biztosítása érdekében elengedhetetlenül fontos. Az érdesség mérő műszerek megjelenése ellenére, a faipari gyakorlatban a tapintással vagy szemrevételezéssel történő minősítés az általános. A minősítést jól használható mérőműszerek segítségével lehet objektívvá tenni. A fémiparban a felmerülő minőségbiztosítási igények kielégítésére már régóta használatosak különböző elven működő érdességmérő berendezések. A faipar átvette, és fafelületek minősítésére használja a berendezéseket, annak ellenére, hogy ezeket elsősorban fém – illetve egyéb homogén szerkezetű anyagok (üveg, műanyag, kerámia) mérésére fejlesztették ki. A fa ezekkel szemben anizotrop, inhomogén szerkezetű ortotrop anyag, melynek következtében az említett mérőműszerek használhatósága, a kapott mérési eredmények jelentésértelme felülvizsgálatra szorul. „Faanyagok mérése során, a fémipari mérésekre kifejlesztett kiértékelést nem lehet kritika nélkül alkalmazni”. (Westkämper, Schadoffsky, 1995) A különböző fafajok érdességének meghatározása során, ezen anyagra jellemző, sajátos problémaként merül fel, hogy míg egyes fajok szöveti szerkezete sűrű, nagy, nyitott edényektől mentes, addig más fajok kisebb-nagyobb átvágott edényeket tartalmaznak, melyeknek számossága, jelenléte a mérési hosszban belül nagymértékben befolyásolja az eredményeket, torzítja a felületi megmunkálás jóságának megítélését. Nagy, átvágott edényeket tartalmazó fajok felületi érdességének kiértékelése során gyakran találkozunk azzal a problémával, hogy egy igen jónak vélt megmunkálás mellett - a statisztikai úton számított különböző érdességi paraméterek - igen rossz felületi minőségre engednek következtetni.

Felvetődik annak szükségessége, hogy a felület milyenségének objektív megítélése érdekében eltávolítsuk a profilból az edények azon részeit, melyek a mérési eredmények gyakorlati használhatóságát ellehetetlenítik. A probléma jellegzetesen olyan faanyagok mérésével és kiértékelésével kapcsolatos, ahol nagy, átvágott edények jelennek meg a mért profil mentén. Mivel a különböző fafajokon belül is csak egy csoportot érint, ez a terület hosszú időn keresztül kívül esett a figyelem látószögén. Az egyre szigorodó minőségi előírások és elvárások azonban ezen a területen is változást sürgetnek, így minden e témával behatóan foglalkozó tanulmány nagy érdeklődésre számíthat.

Jól érzékelhető ez abból is, hogy a fenti témában megjelent publikációink nyomán az elmúlt két évben négy kutató vette fel velünk a kapcsolatot, kért útmutatás, illetve hivatkozott közzétett eredményeinkre az elvégzett munkájában. A vizsgálatok eredményei nem csak a felületek üzemi körülmények közötti minősítése, hanem a különböző pályázatokhoz kapcsolódó kutatások során is jól hasznosulnak, a mindenkori kísérleti mérések reprodukálhatósága megoldhatóvá válik.

A téma aktualitását tovább fokozza, hogy az elmúlt időszakban egyre több történik a hazai fafajok jobb hasznosítása érdekében, különös tekintettel olyan fajok szélesebb körű hasznosítására, mint például a nálunk nagy számban előforduló, bútorigipari felhasználását illetően mellőzött akác.

Az edények zavaró jelenlétének kiszűrésével azonban koránt sem oldódik meg minden probléma, mely a fafelületek érdesség mérését jellemzi.

A felületek minősítése a gyakorlatban jórészt kézzel történik. A gyors és objektív minősítést az edények kiszűrésén túl nagyban segítené, ha rendelkezésre állna, egy olyan paraméter, amely a felület valódi jellegét egyszerűen (egy paraméterrel) írja le. Ennek

értelmében további vizsgálatok szükségesek annak feltérképezésére, hogy alkalmas lehet-e erre a feladatra a „P” profil és annak érdességi paraméterei.

A faanyag inhomogenitása és anizotrop szerkezete megkérdőjelezi a vonalmenti (2D) mérések elégségségét. Tapintócsúcsos mérőműszerek alkalmazásakor különösen nagy gondot jelent, hogy a rostokkal párhuzamos mérések során, az egyes rostkötegek „megvezetik” a tűt, amely így egy árokban haladva nem képes a valós profil kiemelkedéseit követni. Az általánosan elterjedt faipari gyakorlat szerint a különböző alkatrészek megmunkálása (úgy mint gyalulás, csiszolás) szálirányban történik, így a különböző megmunkálási hibák (csiszolási-, gyalulási hornyok, hullámosság stb.) megjelenésére és kimérésére elsősorban a rostfutással párhuzamosan számíthatunk. Ezzel szemben a tapintócsúcsos mérőműszerek alkalmazása a fent említett mérés technikai megfontolás folytán a rostfutásra merőlegesen elvégzett mérést indokolja.

A felvetett problémára a 3D mérések kidolgozása kínál megoldást. Míg a vonalmenti mérések során a mérés helyének esetlegessége nagyban befolyásolja a kapott eredményeket, addig a háromdimenziós mérés valóságos képet szolgáltat a felületről, objektív és megfelelő módon váltja ki a kézzel történő felületminősítést. A tapintótűs érdességmérővel párhuzamosan felvett profilok egymás mellé sorolásával képezhető 3D profil, azonban a folyamat túlságosan időigényes. A 3D mérés és kiértékelés érdekében egyre többet tesznek a fémiparban is, azonban a nagy áttörés, a folyamatközi mérésre és kiértékelésre alkalmas mérőműszer még várat magára. A fémipari eredmények faipari átültetése előtt, meg kell oldanunk azokat a problémákat, amelyek a faanyag sajátos szöveti szerkezetéből adódnak, pl. a nagyedényes fafajok esetében, ahol lehetetlen korrelációt kapni az érdességi paraméterek és a megmunkálás jósága között.

A témaválasztás aktualitását olyan esetek is alátámasztják, amikor gyártó és megrendelő mérési lehetőség és előírt jellemző hiányában nem tudtak megállapodni pl. a gyártott tölgy asztalok érdességének megfeleléséről. A lefolytatott méréseknek ezen dolgozat keretein belül is szűk határt szab a tapintótűs mérőműszer, mely folyamatos gyártásközi ellenőrzésre alkalmatlan. Várható kiváltását szem előtt tartva, az edények kiszűrésére kidolgozott eljárás független attól, hogy a profilpontok adatait milyen mérőműszerrel vettük fel. A módszer elsősorban az edények kiszűrését célozza, kitágítva az érdességmérés szempontjából értékelhető fafajok körét, miközben megvilágítja a hagyományos mérés technika néhány célszerűtlen aspektusát.

2. A felület geometriájának meghatározására alkalmas eljárások és műszerek

2.1. A magyar szabványok tükrében

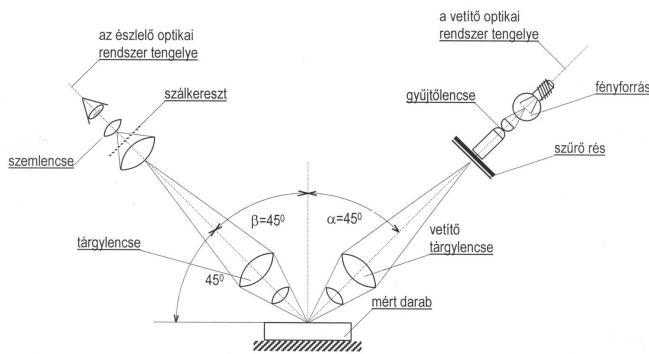
A megmunkált felületek geometriájának meghatározására alkalmas műszereket alapvetően két nagy csoportba: az érintéses illetve érintésmentes eszközök kategóriájába sorolhatjuk, a mérőberendezés működési elve szerint, annak függvényében, hogy érintkezik-e a mérőműszer a mérendő mintadarabbal, vagy sem. Ezen túlmenően a különböző berendezések további osztályokba sorolhatók aszerint, hogy milyen jellegű szabálytalanságot mérnek -hullámosság, érdesség, felületi hibák- hogy a valóságos profilról az információ leképezése pillanatnyi vagy fokozatos illetve, hogy a mérés vagy kiértékelés módszere felület, vagy vonal menti profilletapogató. A különböző mérőberendezések osztályozását az MSZ ISO 1878 „Megmunkált felületek geometriai paramétereit mérő és kiértékelő műszerek és eszközök osztályozása” c. szabvány alapján az 1. sz. mellékletben ismertetem.

A megmunkált felületek mikrogeometriájának vizsgálatára a hatályban lévő MSZ 9656-1988 a következő ajánlásokat teszi: a mikrogeometriailag értelmezhető felületi érdesség és hullámosság mérési elve és módszere a profilt letapogató érintéses vagy érintésmentes műszerekkel történhet. Az érintés nélküli műszerek optikai (mikroszkópiái vagy fényinterferenciás) elven működnek. Az érintéses műszerek a felületet folyamatos mozgatású tapintócsúccsal, vagy pedig lépésenként működő tapintótűvel tapintják le. A mikrogeometriai jellemzőket mérő műszerek csoportján belül a szabványban említésre kerülnek az integrálértékek összehasonlítására alkalmas berendezések: mint a vilamos kondenzátor elvén működő készülékek, a fotometrikus eljárással működő (Guild-féle) és a pneumatikus működésű műszerek. Ezek elsősorban az azonos technológiával készült alkatrészek felületi érdességének és hullámosságának együttes összehasonlítására alkalmasak.

2.1.1. Az optikai elvet alkalmazó módszerek és műszerek:

2.1.1.1. Fénymetszéses (Schmaltz-féle) felületvizsgálati módszer

A profil vizsgálatára a felületre 45° -os szög alatt beeső vékony de széles fénynyalábot használnak. A megvilágított rést egy objektív igen erősen lekicsinyíti és a tárgyra vetíti. A tárgyat egy ugyanolyan objektívvel felszerelt mikroszkóppal vizsgálják, amelyen a profil 45° -os metszeti képe látható és a mikroszkóphoz csatlakoztatott fényképezőgéppel lefényképezhető (1.ábra). Mivel a fényrész szélessége nem végtelenül kicsi, az ilyen módon nyert kép nem egészen vékony vonal,



1.ábra

hanem széles fénysáv, amelynek mindkét széle visszaadja a felületszerkezet részleteit. A vizsgálat során a két él egyike élesre állítható. A mérési hossz: 0,3-2,5 mm. A mikro-

szkóp lencse beosztása segítségével a maximális érdesség és az egyenetlenség magasság leolvasható.

2.1.1.2. Az interferenciás (interferencia mikroszkópos) felületvizsgálati módszer

A fényinterferencia jelenségét használja ki és elsősorban jól tükröző, vagy tükrösített felületek vizsgálatára fejlesztették ki.

2.1.2. A metszettapintós és grafikus profilrögzítő műszer:

A profilt fokozatosan letapogató, érintéses (tűs) műszer, mely az MSZ ISO 1879:1993 szerint - a felületi érdesség profilletapogató módszeres mérésére alkalmazott - olyan eszköz, amely a profilról kapott információkat egymást követően transzformálja, mialatt a tű végighalad a mérendő felületen. A tapintócsúcsos és tapintótűs profilt letapogató műszerek egy vagy több alaphossz leképzést tesznek lehetővé, ami kétdimenziós eredményt jelent, grafikus megjelenítéssel és számítógépes adatfeldolgozással. A tapintó tű (vagy csúcs) mozgását a műszer felnagyítva mutatja, illetve regisztrálja. A szabvány megemlíti, hogy a folyamatos mozgású tapintócsúcsos műszerek hátránya, hogy a tapintócsúcs lekerekítési sugaránál keskenyebb profil-kiemelkedéseket és profil-bemélyedéseket nem észlelnek.

2.1.3. A szabványok áttekintése nyomán levont következtetések:

A megmunkált felületek geometriájának, illetve makrogeometriájának vizsgálatára szolgáló szabványokat áttekintve egyértelműen kijelenthető, hogy a magyar szabványok elsősorban fém illetve egyéb homogén szerkezetű anyagok vizsgálatára vonatkoznak, a faanyagokra nem.

Egyetlen szabvány, az MSZ 4726 – A felületi jellemzők és a felületi hibák fogalom meghatározásai -kapcsán tesz említést a faanyagról, de ott is csupán egyetlen felületi jellemzőjét, a fa erezetét tünteti, fel: „erezett felület” megnevezéssel.

Más európai országban sem sokkal jobb a helyzet. Westkämper és Schadoffsky (1995) ezzel kapcsolatban a következőket állapítja meg: „a fémiparban már a századelőn szabványokat dolgoztak ki (Schmalz, 1936) a megmunkálási érdesség leírására, a ma is ismert érdességi R paraméterek bevezetésével. A különböző szabványok azonban mind fémfelületek mérésére koncentrálnak és hasonló szabványok fa és faalapú felületekre nem dolgoztak ki” Az európai szabványok sorában kivételt képez a PN-84-es lengyel szabvány (2.sz. melléklet), amely „Faanyagok felületi érdessége” címmel az alapvető felületi jellemzőkön túl, néhány megmunkálási módhoz kapcsolódóan, számszerű értékeket közöl a faanyagok elvárt felületi érdességi értékeire vonatkozóan. Hasonló értékek találhatók a GOSZT-ban is.

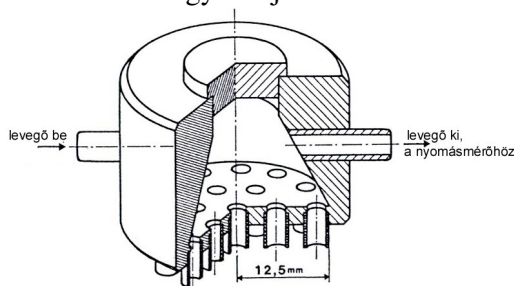
2.2. A szakirodalom tükrében

2.2.1. A pneumatikus, légréses módszer

A mérést olyan készülékekkel végzik, amelyet a mérendő felületre helyeznek, majd a mérőfejben túlnyomást, illetve vákuumot hozva létre mérik a ki-, illetve beáramló levegő mennyiségét.

2.2.1.1. A túlnyomásos felületi érdességmérő készülék

A mérőműszer egy 500 g tömegű mérőfejből áll, melynek a felülettel érintkező korongját 19 furattal látták el. A korong belső oldala polírozott, a furatokba egyenként 3 mm belső átmérőjű, azonos hosszúságú csövek csatlakoznak. A fejbe belépő levegő nyomásának mérése egy a fejhez oldalsó furattal csatlakozó nyomásmérővel történik (50 víz-



2.ábra

oszlop mm). A fejbe beáramló levegő, a mérendő felületre helyezve, amint a 19 csövön keresztül távozik nyomásesést idéz elő (2.ábra). Mothe (1985) kísérletei alapján megállapítja, hogy a fent leírt műszerrel végzett mérések azt mutatták, hogy minél érdesebb a felület annál nagyobb a nyomásesés. Ugyanakkor kihangsúlyozza, hogy az így kapott eredmények kizárólag a különböző felfelületek összehasonlító viz-

gálatára, a felületek osztályozására alkalmasak. Vizsgálatai során olyan felületminősítésre alkalmas műszert keresett, amely egyenértékű a tapintással történő felületminősítéssel. A felületek kézzel illetve szemrevételezéssel történő minősítésének kiváltása érdekében 18 személy bevonásával kísérleteket folytatott a továbbiakban annak megállapítására, hogy milyen összefüggés áll fenn a szubjektív minősítés, illetve a pneumatikus érdességmérővel mért felületi érdesség között. **Kísérletei rámutattak, hogy a nagyedényes (tölgy) fajok felületi érdességének megítélése e módszerrel különösen nehéz, mivel a sötétben, kézzel történő minősítés során a felületet az alanyok sokkal kevésbé érdesnek érezték, mint amennyire azt a pneumatikus érdességmérő jelezte.** Ugyanakkor a szemrevételezéssel történő megítélés során a tölgymintákat mindenki érdesebbnek „látta” mint amilyennek tapintással érezte. **Más fafajoknál (vadcseresznye, bükk) a faanyag edénymentes szerkezetének köszönhetően a „visiotactil” mérések eredményei jól korreláltak a pneumatikus mérőberendezés által szolgáltatott nyomásesés értékeivel.** Bár a módszernek nagy hátránya, hogy közvetlen érdességi paramétert nem szolgáltat, a szerző hangsúlyozza a mérések nagy érzékenységét, szoros összefüggésben azzal, hogy az emberi kéz 1µm érdesség különbséget, míg az emberi szem 0,1-0,5 µm érdesség különbséget érzékel.

2.2.1.2. A vákuumos felületi érdességmérő készülék

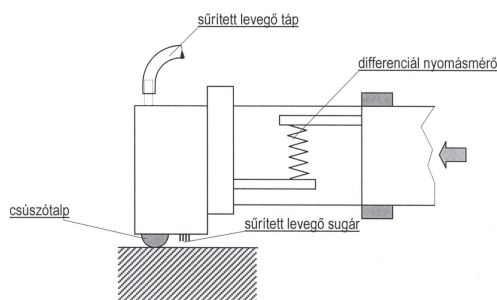
A Technológiai Tanszék elődjeként ismert Bútor és Épületasztalos Ipari Tanszéken az 1980-as évek elején Kovács Gábor egy kutatási programhoz csatlakozva kigondolt és létrehozott egy pneumatikus érdességmérő műszert, melyet a felületi simaság mérésére ajánlott használni. A berendezés a korábbihoz hasonlóan egy, a felületre helyezendő mérőfejből áll, mely egy gyűrű mentén érintkezik a faanyaggal. A mérőfejben egy motor vákuumot hoz létre, majd egy beállítható határérték után a motor leáll és egy higany

mm-es nyomásmérő méri a nyomásnövekedést, mely a gyűrűfelülettel érintkező résein következik be. A nyomás kiegyenlítéséhez szükséges időt adva meg jellemzőként, a műszer az egyre simább felületeket, egyre nagyobb számértékkel méri. A szerző javaslatot tesz arra, hogy mivel a különböző felületek geometriai állapotának kifejezésére két műszaki fogalom is használható, úgy mint érdesség, illetve simaság, tekintettel arra, hogy ez utóbbi műszaki szempontból kedvezőbb állapotra utal, a jó minőségű fafelületek érdességi állapotának kifejezésekor a „simaság” kerüljön alkalmazásra. A kutatási zárójelentésben a szerző hangsúlyozza, hogy a mérőműszer nagyon érzékeny, ezért a különböző technológiáknak a felületi érdességre gyakorolt hatása jól kimutatható. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a vizsgált minták, bükkből készültek, így az eredmények kiértékelését a nagy, nyitott edények jelenléte nem zavarta.

Mindkét fent ismertetett eljárás illetve mérőműszer hátránya, hogy közvetlen, szabványos érdességi paramétert nem származtat, így elsősorban összehasonlító vizsgálatokra alkalmas. További problémaként merül fel, hogy amennyiben a vizsgált minta nem csak érdességet, hanem hullámosságot, vagy alakí eltérést is tartalmaz, a mérőfej felületre való ráültetése nehézségekbe ütközik. A vákuumos felületi érdességmérőnél ennek kiküszöbölésére különböző, rugalmas alátétekkel kísérleteztek.

2.2.1.3. Pneumatikus profilmérő módszer

A fémiparban hosszú időn keresztül, széles körben alkalmazták a levegős érdességmérő módszert, folyamat közti ellenőrzésre is. A pneumatikus (levegős) mérés során egy mérőfejet vezetünk végig a mérendő felület felett, elektromos meghajtó egység segítségével, állandó sebességgel, melyből levegő áramlik ki (3.ábra). A mérés a kiáramló levegő nyomásváltozásának folyamatos meghatározásán alapszik (differenciál nyomásmérés).



3.ábra

A Millisurf érdességmérő berendezés olyan érdességi paramétereket tud szolgáltatni, mint: R_a , R_z , R_{max} , ugyanakkor a mérőműszerhez csatolt profilrajzoló megrajzolja a P profildiagramot.

A mérési eljárás és mérőberendezés előnyeként említhető, hogy szennyezett felületen is lehet mérni, továbbá előnyös, hogy érintésmentes a mérés. A mérőműszer faipari területen történő alkalmazhatóságról irodalmi adat nem áll rendelkezésre.

2.2.2. A kapacitív módszer

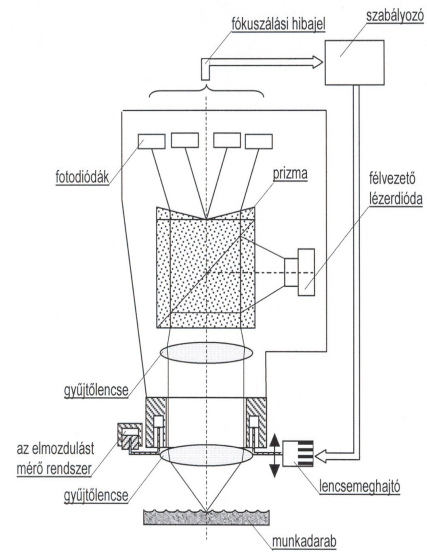
A mérési elv lényege, hogy a mérendő felület és egy vékony rétegelektroda (mint kondenzátor lemezek között) mérjük a kapacitás változását, miközben az elektróda érintésmentesen mozog a felület felett. A berendezés a 0,1-3 μm -es R_a értékeket tud szolgáltatni.

2.2.3. Optikai elvet alkalmazó érdességmérő eljárások

A itt ismertetett eljárások előnye, hogy érintésmentesen mérik a felületet, így elvileg a kiálló rostok lemerésére is lehetőség van, azokat nem hajtják el, nem törik le. A nagy-edényes fajokat azonban nem tudják jó eredménnyel mérni és a faanyagokra oly jellemző színeltérések (korai-kései pászta, geszt- szíjács) jelentősen befolyásolják a mérési eredményeket, mivel a színbeli eltéréseket a berendezés olykor mélység különbségként regisztrálja. (Schadoffsky, 1995).

2.2.3.1. A lézertérképezés eljárás

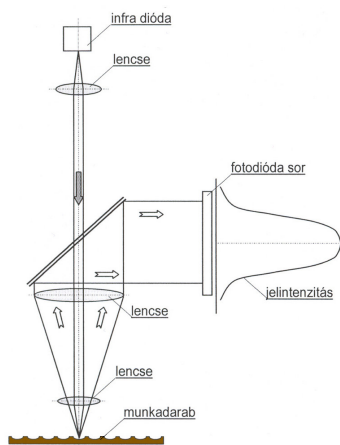
A lézertérképezés (4. ábra) a felületi érdesség profilletapogató módszeres mérésére alkalmas eszköz, amely a felületről kapott információ pillanatnyi transzformálását adja a mérendő felülettel való érintkezés nélkül. A berendezés a lézer dióda által szolgáltatott sugarat amely egy prizmán hatol át, a kollimátor lencse segítségével, a mérendő felületre fókuszálja. Fotodiódák érzékelik a fókusz hibajelet és mérés közben gondoskodnak az objektív folyamatos utánállításáról annak érdekében, hogy a kapott kép minden pillanatban éles legyen. A mért profil vonalmenti (kétdimenziós), amelyhez számítógép által kiértékelt, szabványos érdességi paraméterek rendelhetők. A mérési eljárás előnye, hogy a felület érintése nélkül történik, így a felületből kiálló rostokat, szőröket a berendezés azok eltolása nélkül méri le. Azonban nagyedényes fajoknál az edények falán, alján a fókuszálás bizonytalan.



4.ábra

2.2.3.2. A diffúz reflexiós módszer

Egy infra dióda által kibocsátott, 2mm átmérőjű fénynyalábot bocsátunk a mérendő felületre. A mérendő felület, struktúrája illetve érdessége függvényében, a beeső fényt kisebb vagy nagyobb mértékben szétszórja. A diffúzan visszavert fényt egy fotocella sor fogja fel (Sander, 1991), mely a különböző visszaverődési szögeket elektromos jellé alakítja. Végül egy mikroprocesszor vezérelt kiértékelő egység kiszámolja az optikai fényszórási együtthatót, S_N -t (5.ábra). A berendezés egyszerű, a mérés gyors, azonban a kapott paraméter a szabványos érdességi értékekkel nem azonosítható, R_a , R_z paraméterre nem alakítható, a felület jóságára közvetett módon lehet következtetni. A mérési tartomány 0,0005 és 2 μm közötti. (Stout, 2000)

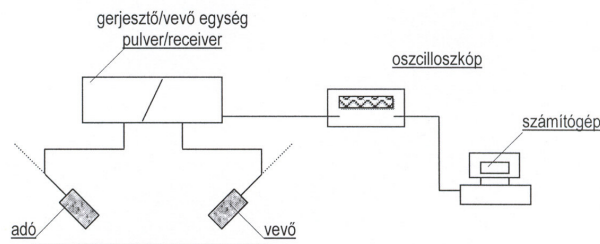


5.ábra

2000)

2.2.4. Ultrahangos érdességmérés (Lin-Johnson-Beall,

Érintésmentes eljárás. A jeladó által kibocsátott ultrahang - a mérendő felületről visszavert - visszhangját méri. A felület profilját abból az időből származtatja, amit a hang a



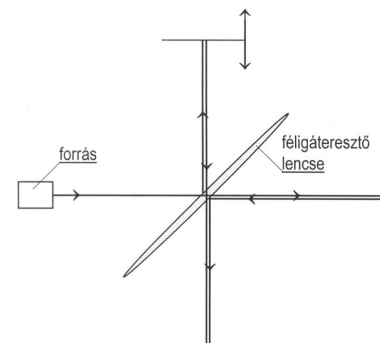
6.ábra

forrás és a felület között megtesz. (Stout, 2000). Modern berendezéseknél nincs szükség közvetlen érintkezésre a felülettel, rövid időtartamú, széles sávú impulzuscsúcsok mellett. A felületről visszavert jelet oszcilloszkóp fogja fel, majd számítógépre továbbítja (6.ábra). A mérési tartomány a különböző kialakítású berendezéseknél eltérhet,

általában 1-40 μm -es (Lin-Johnson-Beall, 2000), illetve 20-200 μm -es (Stout, 2000) tartományt említ a szakirodalom.

2.2.5. Lézer interferométeres mérési módszer

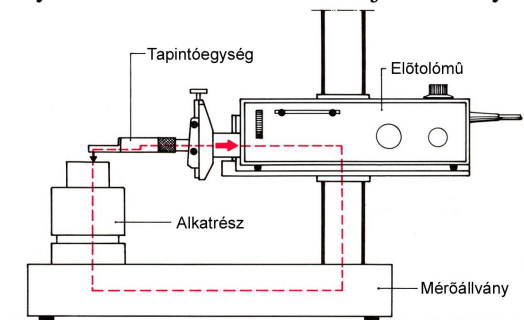
Ebben az esetben a mérést végrehajtó egység egy 2 μm sugarú, gyémánt hegy, mely érintéses módon méri a profilt, de a felület geometriáját követő elmozdulásokat nem induktív, hanem interferometrikus konfigurációban olvassa. A mérőkar egyik végén a tű, a másik végén pedig egy félig áteresztő lencse található. A Michelson-féle interferométert egy He-Ne lézer világítja meg. A visszavert sugarakat fotodiódák gyűjtik be (7.ábra). A berendezés megalkotásakor azt a célt tartották szem előtt, hogy egy pontos, ugyanakkor széles mérési tartományú mérőműszert hozzanak létre. (Stout, 2000) A mérőműszer mérési tartománya így 1-5000 μm -ig terjed. Az eljárással kapcsolatban hátrányként említhető, hogy az optikai részek stabilitása érdekében rezgésmentes mérési körülményeket kell biztosítani.



7.ábra

2.2.6. A tapintócsúcsos érdességmérő eljárás

Olyan érintéses felületmérő eljárás, melynek során térbeli felület struktúráját egy vonal



8.ábra

mentén, tapintó tű segítségével letapogatjuk, majd ennek eredményeként egy vonalmenti, kétdimenziós érdesség profilt kapunk a felületről (8.ábra). A gyémántheggyel ellátott tapintócsúcsot speciális, súrlódásmentes felfüggesztéssel látják el. Miközben a tűt - a mérendő felületen egy elektromos meghajtó egység vontatja, a tapintótű pontosan követi a felület egyenetlenségét. A felületen található „hegyek” ill. „völgyek” a tűt

függőleges irányú kitérésre készítetik, amit egy elektromechanikus jelátalakító elektromos jellé alakít és a számítógépbe táplál. A berendezés mérési tartománya: $\pm 2500 \mu\text{m}$. A tapintótűs érdességmérő berendezés a következő főbb elemekből áll:
-előtolómű, előtolást vezérlő és meghajtó egység, erősítő, elektromos szűrő, beépített számítógép az adatok feldolgozására, digitális kijelző egység és nyomtató.

A tapintócsúcsos mérőműszerek előnyei:

- jelenleg az egyetlen mérőműszer mely több, szabványos és nem szabványos érdességi paramétert is tud szolgáltatni;
- a mérési tartománya egészen $2500 \mu\text{m}$ -ig terjed;
- nemcsak felületi érdesség, hanem hullámosság és alaki eltérés mérésére is alkalmas.

Hátránya:

- a mérőműszer egy kétdimenziós felületprofilt ír le, noha a mérendő felület egy háromdimenziós egység;
- a mérési hossz csak $0,4$ és max. 40mm között változtatható;
- a tú geometriája és lekerekítési sugara behatárolja a lemérhető érdesség minimumát.

Míg egyes felületeknél a megmunkálás következtében várható profil-kiemelkedések szögei (főként fémeknél) nagyobbak 120° -nál addig az $5 \mu\text{m}$ -es lekerekítési sugarú tú $1\mu\text{m}$ körüli érdességet is hiba nélkül szolgáltat, de bizonyos anyagok esetében, melyeken repedés, vagy nagy, nyitott pórus van, mint a faanyag, elkerülhetetlenül mérési hiba merül fel.

-az előtolómű érzékenysége, a hosszas beállítási idő, valamint a viszonylag hosszú, 15 másodperces mérési idő miatt, a tapintótűs érdességmérő nem alkalmas folyamatközi, automatikus mérőállomásként való felhasználásra.

2.2.7. Nagyon kis érdesség mérésére alkalmas berendezések

Faanyagok mérésekor, az alábbi berendezéseknek, a fa anatómiai szerkezetének feltérképezése során lehet jelentősége, így csak felsorolásszerűen ismertetem:

- a Spekle jelenségen alapuló mérés
- lézer scanning mikroszkópia

2.2.8. Összefoglalás

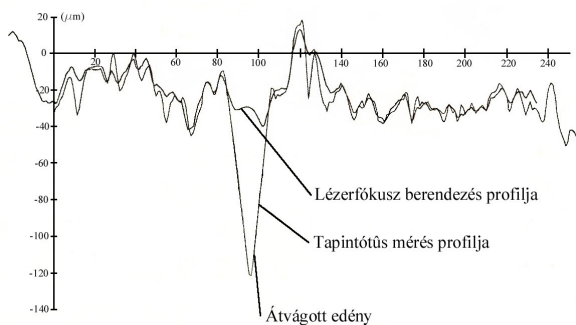
Összefoglalásként megállapítható, hogy a különböző berendezések jellemző vízszintes és függőleges mérési tartománnyal rendelkeznek, ezért a különböző mérőműszerek kis átfedéssel különböző mérési feladatok megvalósítására alkalmasak. Ezen túl sajátos fizikai attribútumaik (mint a műszer, illetve a minta mérete és geometriája, a jelátalakító érzékenysége, a mérési hossz, a felbontás finomsága, a függőleges mérési tartomány, a mérendő minta anyaga stb.) meghatározzák az egyes berendezések felhasználási területét. A fent említett mérési eljárások mindegyike alkalmas a faanyag felületi geometriájának ilyen vagy olyan formában történő minősítésére. A faanyagok felületi minőségének számszerűsíthető mérésére azonban, alapvetően, és legelterjedtebben, két mérési módszer használatos (Lin-Johnson-Beall, 2000):

-a tapintócsúcsos érdességmérő eljárás és

-az optikai, lézerefókusz eljárás

A dolgozat összeállításánál jelentős segítséget jelentett, hogy a Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézetben rendelkezésre áll az S3P Perthometer tapintótűs érdességmérő berendezés, melynek fapelületek mérésére való alkalmasságát a szakirodalomban fellelhető eredmények is megnyugtatóan támogatják.

Westkämper és Schadoffsky 1995-ben publikálták összehasonlító elemzésüket a tapintótűs és lézerefókuszos érdességmérő eljárásokról, faanyag felületi érdességmérésére



9.ábra

vonatkozóan. Az összehasonlítást egy jellemzően nagyedényes fafajon: tölgy-mintán végezték el. Amint az ábrán is látható, a lézerefókusz mérési eljárás pontatlanabb profildiógramot szolgáltat, mint a mechanikus, tapintótűs letapogatás (9.ábra). A lézerefókusz szenzor úgy az átvágott edények esetében, mint az átvágott rostnyalábok le-és felszálló meredek oldalán, számos helyen elveszíti a fókuszpontot és ebben a pozícióban vár mind-

addig, míg egy következő csúcs felszálló oldalán újra fókuszálni tud. Ennek következtében az így megjelenített profil jelentősen eltér mind a valóságos, mind a tapintócsúcsos berendezés által szolgáltatottól. A fókuszálni hiba egyik lehetséges oka a felület rossz reflexiós tulajdonsága. A mérőműszer alkalmasságát Lundberg és Porankiewicz (1995) is vizsgálták és megállapították, hogy minél sötétebb a mérendő felület, annál kevesebb a visszavert fényhányad, így a felület színe illetve színeltérései nagymértékben befolyásolják a mérési eredményt.

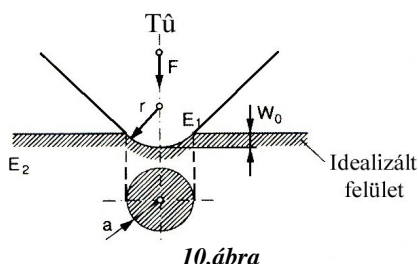
Megállapítható tehát, hogy a tapintótűs profilletapogatás pontosabb eredményt szolgáltat, mint a lézerefókusz eljárás.

3. Vizsgálati eredmények a szakirodalomban

3.1. A tapintótű, a mérési hossz és a megmunkálás hatása az érdességre

3.1.1. A tű benyomódási mélysége

A modern mérőberendezéseknél a felületre merőleges nyomóerők viszonylag kicsik, egy 5 μm -es lekerekítési sugarú tű esetén 0,7 és 1,3 mN között adódnak. Westkämper és Schadoffsky (1995) a Hertz-féle képlet segítségével számolták a tű benyomódási mélységét egy homogén és izotropnak feltételezett, elméleti felületen (10.ábra).



10.ábra

$$E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$$

Ahol:

E- rugalmassági modulus

E_1 - a gyémánthejy rugalmassági modulusa

E_2 - a faanyag rugalmassági modulusa

($E_{\text{fenyő}} = 550 \text{ N/mm}^2$, $E_{\text{tölgy}} = 1500 \text{ N/mm}^2$)

$$w_0 = \sqrt[3]{\frac{2,25(1-\nu^2)F^2}{E^2r}}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{1,5(1-\nu^2)Fr}{\nu}}$$

Ahol: r- a tű lekerekítési sugara

w_0 - benyomódási mélység

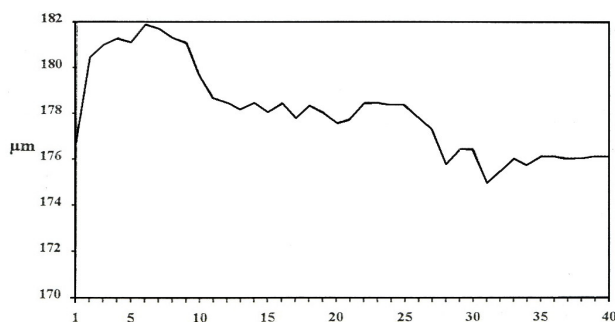
F- a felületre merőleges nyomóerő

ν - keresztnyúlási szám (tölgyre: 0,36; fenyőre:0,11)

Erdeifenyő esetében a benyomódás $w_0 = 0,8 \mu\text{m}$, tölgy esetében $w_0 = 0,4 \mu\text{m}$.

3.1.2. Az ismétlődő mérések

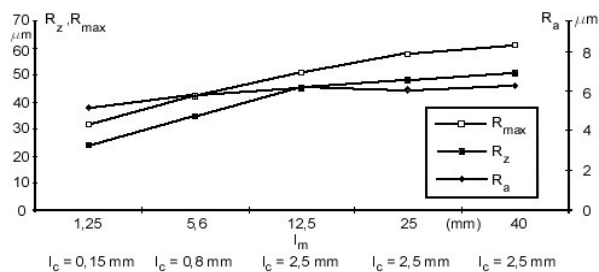
A tű fafelületeken okozott roncsolásának kimutatásával először Mothe (1987) foglalkozott és megállapította, hogy a mérések ismétlésével az érdesség nő. 1994-ben Sachse 40-szer ismételt mérést hajtott végre egyazon mérési nyomban hámozott duglászfenyő furnérokön. 0,8 mN nyomóerejű, 10 μm sugarú tűvel, a tű roncsoló hatásának vizsgálatára,. Két változatot vizsgáltak: egyik esetben a tű, mérés után, a felületről felemelkedve tért vissza a kiindulási helyzetébe, míg a másik esetben „visszatolatott” a felületen. Összesen két méréssorozatot hajtottak végre. A következőket állapították meg: az első néhány mérésnél feltehetően a már sérült rostok sejtfalai felszakadnak és kiemelkednek a felületből, ezzel magyarázható az R_z értékek jelentős kezdeti növekedése. A 10 mérés környékén, a korábbi magas értékekhez képest visszaesés tapasztalható, vélhetően amiatt, hogy ekkorra a felület már erősen lesimítottá válik. A további méréseknél az R_z értéke jelentősen már nem változik (11.ábra). (Sachse, 1994)



11.ábra

3.1.3. A mérési hossz hatása a mérési eredményre

A 12. ábra az R_z , R_{max} és R_a értékek változását mutatja, különböző mérési hosszok mellett, azonos nyomvonal esetén, finoman csiszolt fenyő mintán. Miközben az átlagos



12. ábra

érdesség közel azonos marad, az R_z és R_{max} értéke monoton növekedést mutat. A szerzők, Westkämper és Schadoffsky (1995) a jelenséget azzal magyarázzák, hogy a lement szakasz hosszával arányosan nő annak a valószínűsége, hogy a tú kiálló rostot talál.

3.1.4. A megmunkálás hatása

A megmunkált felület jó minősége mindennemű megmunkálás (csiszolás, gyalulás) esetén fontos követelmény. Faanyagok esetében a megmunkált fafelület érdessége számos tényezőtől függ, melyek jóval szélesebb skálán mozognak, mint a fémek, vagy műanyagok esetében (a fafaj, a fa keménysége, nedvtartalma, a forgácsolás módja, a szerszám állapota és forgácsolás sebessége). A szakirodalomban fellelhető megállapítások rámutatnak, hogy a megmunkálási folyamat eredményeképpen előállt fafelület érdessége:

- anatómiai,
- megmunkálási és
- kinematikai érdességből tevődik össze. (Heisel-Krondorfer, 1996)

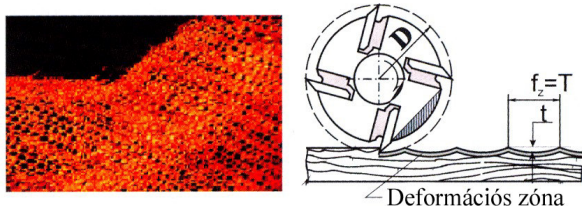
A megmunkálási érdesség elsősorban a forgácsolási él, illetve annak kopottsága, a gépbeállítási paraméterek és azok kinematikája függvényében alakul ki. Definiálható az ideálisan megmunkált felület, melynek jellemzője, hogy ideális felületi érdességét egyedül és kizárólag a fafajspecifikus sejtszerkezet határozza meg. Az anatómiai érdesség tehát úgy értelmezhető, mint amely a fafaj sajátja, és ezért a megmunkálási körülmények optimumán sem érhető el annál kedvezőbb érdességi érték. Ez azt jelenti, hogy a fa sejteit egyenletesen választjuk le, törés és tömörödés, ill. a felületi sejtek és rostok tegek roncsolódása nélkül. Az ilyen ideális felületeknél nedvesség hatására sem történik szálfelhúzóadás. A kinematikai érdesség a forgó, vagy fűrészelő szerszámoknál, a szerszám forgásának, mozgásának és a közben végbemenő előtolásnak az eredménye. Gyalult felületen (ideális, rezgésmentes viszonyokat feltételezve) a vágáskép egy ciklois profil. A forgó alkatrészek és a szerszámtömeg kiegyenlítetlenségéből, a beállítás pontatlanságából lengések, rezgések alakulnak ki, ami a felületen a késnyomok periodikus változásához vezet. „Ezt a hullámosságot nevezük kinematikai érdességnek” (Schadoffsky, 1996). Fuchs, Devantier és Emmmler (1997) kijelentik, hogy ideálisan sima felület nincs, minden megmunkált fafelületnek jellegzetes érdessége van, a fafajtól és a megmunkálás körülményeitől függően. „A faanyagok érdességén a rostok érdessége értendő, míg a gyalulási nyomok hullámosságként azonosíthatók”.

3.2. Mart felületek

A sima fafelületek iránti igény nem csupán esztétikai kérdés, hanem jelentős technológiai tényező (Heisel-Tröger, 1993) amely befolyásolja a lakk-, és ragasztó szükségletet, a tapadást illetve a ragasztási szilárdságot, valamint a környezeti hatásokkal szembeni ellenálló képességet.

3.2.1. A deformációs zóna

A forgácsolásra a fa mint természetes anyag úgy reagál, hogy a mind a felületi, mind a felületi réteg alatti rostrétegek bizonyos mélységig deformálódnak (13.ábra). A meg-



13.ábra

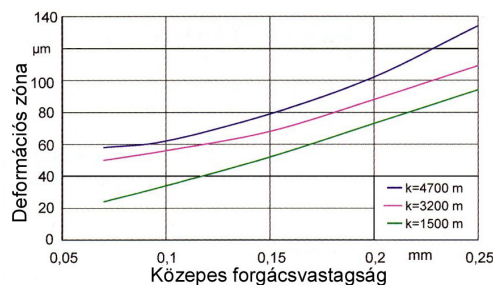
munkálás során a felületet olyan hatások érik, melyek következtében a fa keresztmetszetében átalakul. Ezen átalakulások egyrésze elasztikus (spontán visszarugózik), egyrésze viszkoelasztikus (bizonyos időn belül alakul vissza), míg mások plasztikus

(véglegesek). A faanyag szerkezetében lejátszódó roncsolódás a következő (Westkämper-Riegel-Schadoffsky, 1997):

- törések, kiszakadások a fafelületből, kiálló rostok, szőrösödés
- sejtfalak összenyomódása, tömörödése a fa felületközeli rétegében
- törések a faanyagban, megroppant sejtfalak között és azokon belül.

Bartz már 1966-ban megállapította, hogy a forgácsoló szerszám alatt a sejtstruktúra tömörödése áll elő. Ennek a deformációs zónának a vastagsága a vágóél kopottságától, a lefejtett forgács vastagságától (fogásmélység), és az élgeometriától függ. A deformációs zóna felhasználható a megmunkálási minőség jellemzésére. A deformációs zóna jelentős vastagságú lehet és aránylag sok rostot érint. Ha optimális forgácsolási körülményeket teremtünk, akkor ez a zóna kevésbé mély és a felület vizuálisan is jónak mutatkozik,

ami nem csak esztétikailag fontos, egy mélyen deformálódott fafelület rontja úgy a lakk tapadását, mint a ragasztási szilárdságot. A deformációs zóna mélysége a közepes forgácsvastagsággal nő (14.ábra) (Heisel, 2002). A törvényszerűség a szerszám élkopás hatásához hasonlatos, így összefüggés sejthető a deformációs zóna mélysége és az élkopás között. Schadoffsky (1996) vizsgálta az egyen és ellenirányú forgácsolás, a fogásmélység hatását, lucfenyőn, az egy fogra jutó eltolás alacsony értéke mellett, de semmilyen összefüggés nem körvonalazódott a roncsolódott sejtréteg vastagsága és a megmunkálás kinematikája között. Azonban az egy fogra jutó eltolást 1 mm-ről 2mm-re növelve, a roncsolt sejtréteg vastagsága csökkent.



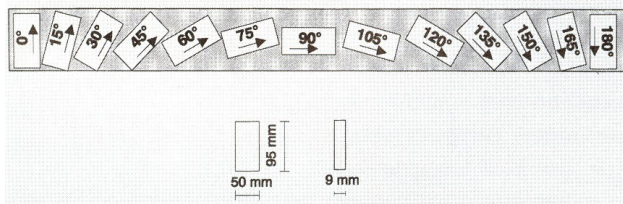
14.ábra

3.2.2. A „jointolás”

Bizonyos körülmények között helyettesíti az élézést, bár tudományosan ez nem bizonyított (Heisel-Tröger-Müllner, 1997). Egy szokásos kopási fázis $F = 0,25$ mm, ami $D_t = 0,106$ mm sejtréteg deformációt idéz elő, ezzel szemben a jointolással élezett szerszámélnél $F_j = 0,7$ mm, de a tömörödő sejtréteg vastagsága csak $D_t = 0,012$ mm. Lényeges kiemelni, hogy a jointolt felület nem sík, hanem - az utóbbi esetben például - egy 60 mm sugarú hengerpalást.

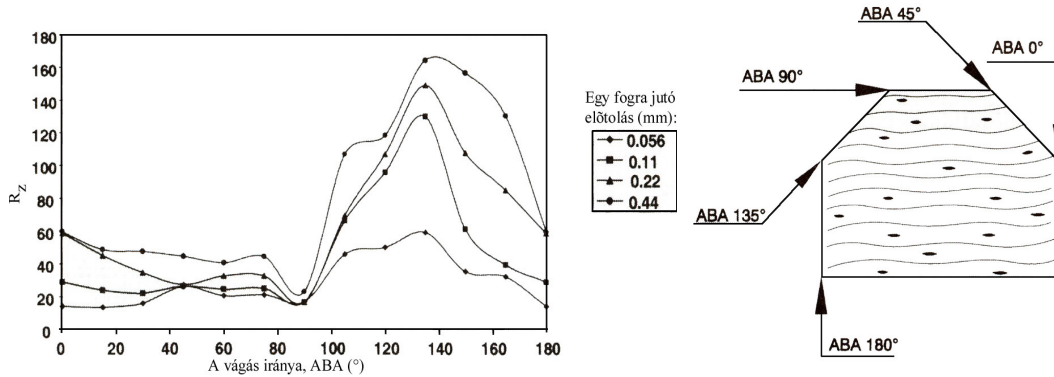
3.2.3. A vágási irány hatása

Westkämper, Niemi és Sachers 1996-ban kritériumokat próbáltak felállítani egy intelligens, megmunkálás során a rostirányt is figyelembe vevő NC program összeállításához, mely automata megmunkáló szerszám kiválasztást és cserét tenne lehetővé CNC gépeken. A mintákat egy fenyő rönkből 15°-onként haladva vágták ki (15.ábra).



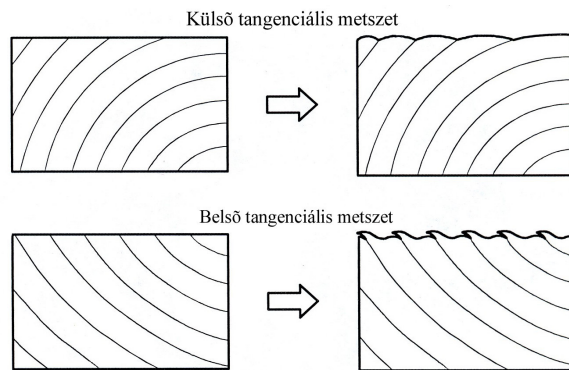
15.ábra

tán a vágási sebesség, az előtolási sebesség, a fogásmélység, illetve az ellen és egyenirányú megmunkálás különböző kombinációiból nyert érdességi paraméterekből



16.ábra

állítottak össze adatbázist. A kialakított mintákat taktil és tapintócsúcsos érdességmérésnek is alávetették. Nyír mintákon, ellenirányú forgácsolás és $v=22,6$ m/sec mellett, a legkedvezőbb R_z értékek tangenciális metszeten, vagyis 90°-os megmunkálási iránynál adódtak (16.ábra).



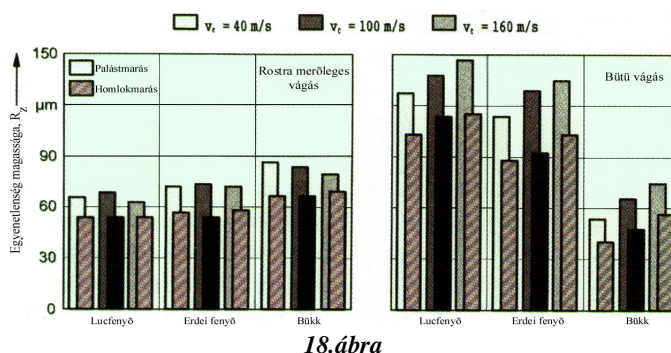
17.ábra

Kisselbach és Schadoffsky 1996-ban lucfenyő mintákon végeztek kísérleteket és arra a következtetésre jutottak, hogy tompa, vagy kopott szerszámmal munkálva meg a felületet, a felület érdessége még tangenciális metszeten is eltérő jellegzetességeket mutat, célszerű különbséget tenni úgynevezett „belső” és „külső” tangenciális metszet között. Amint az a 17.ábrán is jól kivehető, külső metszeten, a tompa szerszám

hatására, domborodó évgyűrű szerkezet, míg belső tangenciális metszeten az egyes évgyűrűk határán kismértékű lemezes elválás és rostköteg kiemelkedés jön létre. Heisel és Tröger (2002) szintén lucfenyőn folytatott vizsgálataik nyomán kijelentik: különösen érzékeny részek a korai és kései pászta átmeneti részei, jelentős befolyásoló tényező az évgyűrűk átvágásának a szöge. Ha az előhasadás iránya és az évgyűrűk érintőjének iránya megegyezik, akkor rosszabb felület minőségre kell számítanunk, mert a faanyag ebben az irányban jól hasad. De ha az évgyűrűk érintőjének iránya és az előhasadás iránya által bezárt szög közel 90° -os, akkor az előhasadások kisebbek, a megmunkálás minősége jobb.

3.2.4. A vágási sebesség hatása

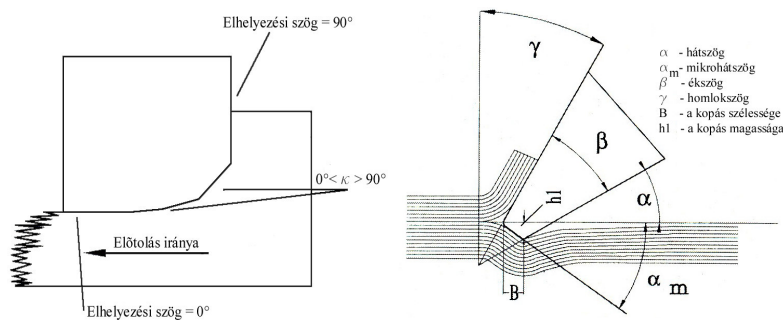
1997-ben Hoffmeister, Kisselbach és Schadoffsky erdei- és lucfenyőt, bükköt, tölgyet, merantit és MDF-et vizsgáltak, rosttal párhuzamosan, rostra merőlegesen és bütün vágva, a vágási sebesség függvényében. A vágási sebesség és az érdesség között, rosttal párhuzamos vágási irányban, összefüggés nem volt bizonyítható. A faanyag anatómiái jellemzőinek hatása a felületi érdességre jelentősebb (18.ábra). A kialakított minták körét azonban, menetközben leszűkítették, vizsgálati eredményeket csupán fenyőkre és bükkre közölnek, azzal a kiegészítéssel, hogy: "A nagypórusú tölgyet és merantit visszavontuk a vizsgált minták közül, mert nagyedényes fafaji sajátosságaik miatt az R_z értékekkel való bármilyen korreláció megállapítása lehetetlen volt."



18.ábra

3.2.5. A szerszámél állapotának hatása

A legjelentősebb és az üzemi gyakorlat számára legfontosabb összefüggés vizsgálata a felületi érdesség és a szerszám él kopás között fennálló reláció. Hoffmeister és



19.ábra: A forgácsoló szerszám jellemző szögei

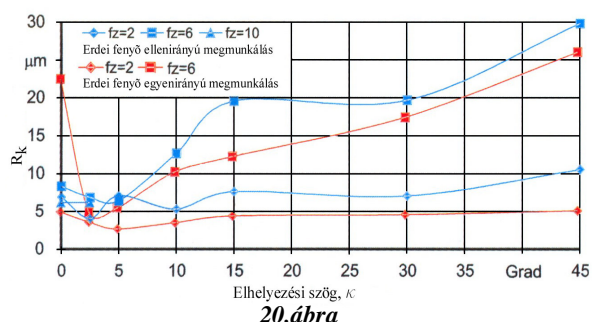
Kisselbach (1997) bükk mintára közölnek eredményeket az R_z értékére vonatkozóan. A $3 \mu\text{m}$ lekerekítési sugarú frissen élezett szerszám, bükk mintán, $25\text{-}30 \mu\text{m}$ közötti R_z értéket eredményez. Ezzel szemben $23 \mu\text{m}$ -nyi élkopás, (tompá szerszám) közel megkétszerezi, a $46 \mu\text{m}$ -nyi élkopás, (kopott szerszám), 5-6-szorosára növeli R_z értékét. Magoss (2000) tölgy, vörös- és erdeifenyő, valamint bükk mintákon, $10 \mu\text{m}$ -es lekerekítési sugarú (éles) szerszám 8 és $10 \mu\text{m}$ kö-

zötti R_k értékeket mért. Az 53 μm -es lekerekítési sugarú szerszám R_k értékét kétszeresére növelte.

3.2.6. A megmunkáló szerszám paramétere

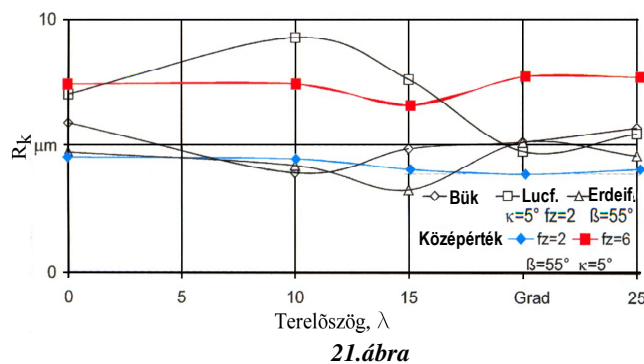
A faanyagok érdességével kapcsolatos publikációkat áttekintve azt találjuk, hogy, míg a téma egyes területei elhanyagoltak, addig a faanyagok érdessége és a megmunkálás körülményei között fennálló összefüggésekkel több szerző is kimerítően foglalkozott. Heisel, Tröger és Fronius (2002) vizsgálták az egyen és ellenirányú forgácsolás, az elhelyezési szög, a terelőszög változásának, és az ékszög változásának hatását, tömörfa megmunkálási folyamat optimalizálása kapcsán.

Az elhelyezési (beállítási) szög, κ optimumát keresve 0° és 90° között a következő be-

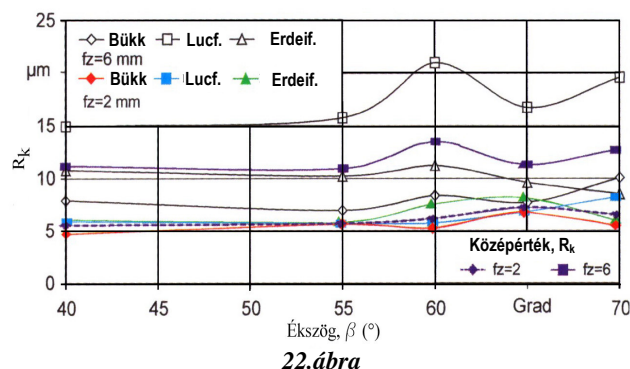


állítás szögeket vizsgálták: $\kappa=0^\circ$; $2,5^\circ$; 5° ; 10° ; 15° ; 30° ; 45° (20. ábra). Összegezve arra az eredményre jutottak, hogy R_k értéke $\kappa=5^\circ$ esetén a legkedvezőbb, így a további összefüggések vizsgálatakor $\kappa=5^\circ$ -ot állandó értéken tartották. A méréseket erdeifenyő, lucfenyő és bükk mintákon hajtották végre.

A terelőszög, λ és a felületi minőség összefüggését feltárandó, a következő terelőszö-geket vizsgálták: $\lambda=0^\circ$; 10° ; 15° ; 20° ; 25° , miközben a beállítási szög értékét $\kappa=5^\circ$ -on, az ékszög értékét $\beta=55^\circ$ -on tartották, f_z , az egy fogra jutó előtolás értéke, 2 és 6 mm volt. A jó megmunkálási minőség tekintetében, $\lambda=15^\circ$ -os terelőszög mutatkozott optimálisnak. A méréseket erdeifenyő, lucfenyő és bükk mintákon hajtották végre (21. ábra).



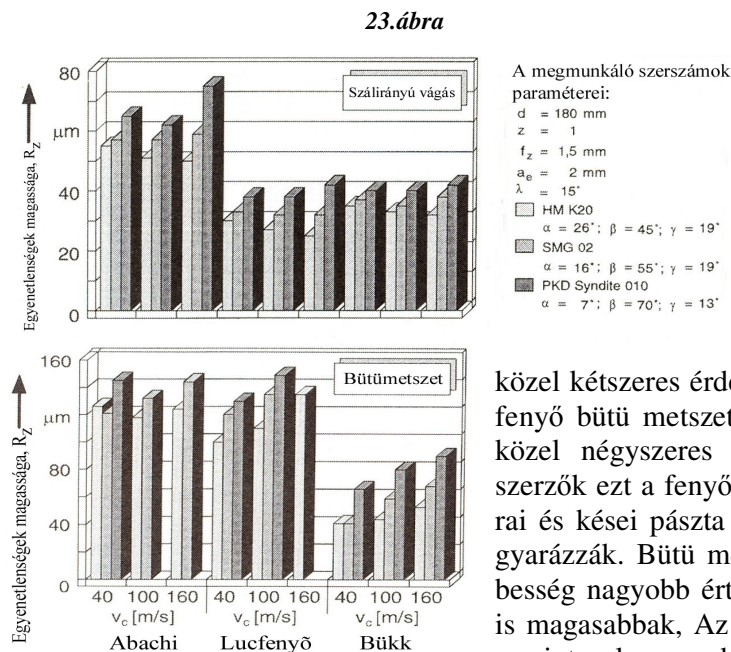
Az ékszög, β hatásának vizsgálá-



latához öt kést használtak fel, egyenként $\beta=40^\circ$; 55° ; 60° ; 65° ; 70° -os ékszöggel, miközben a beállítási szög értékét $\kappa=5^\circ$ -on, az ékszög értékét $\beta=55^\circ$ -on tartották, f_z , az egy fogra jutó előtolás értéke 2 és 6 mm volt. A mérések alapján a $\beta=55^\circ$ ékszög adódott optimálisnak. A méréseket erdeifenyő, lucfenyő és bükk mintákon hajtották végre (22. ábra).

3.2.7. A forgácsolási sebesség hatása

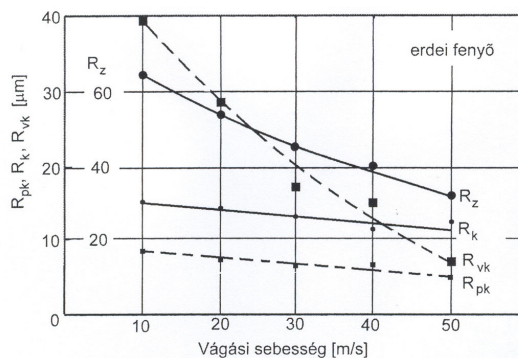
Westkämper és Fuß (1996) a nagysebességű palástmarás hatásösszefüggései kapcsán a



következő tapasztalatokat publikáltak: bükk, erdeifenyő és abachi minták hosszanti és bütü metszetén, a forgácsolási sebesség 40, 100 és 160 m/sec értékei mellett, R_z értékét mérve, bükkre bütü metszeten

közel kétszeres érdesség adódik, míg az erdeifenyő bütü metszetén a rostirányúhoz képest, közel négyszeres az érdesség (23.ábra). A szerzők ezt a fenyő, fajta sajátosságával, a korai és kései pászta eltérő tulajdonságával magyarázzák. Bütü metszeten, a forgácsolási sebesség nagyobb értékei mellett, az R_z értékek is magasabbak, Az általános végkövetkeztetés szerint „alacsonyabb forgácsolási sebességnél

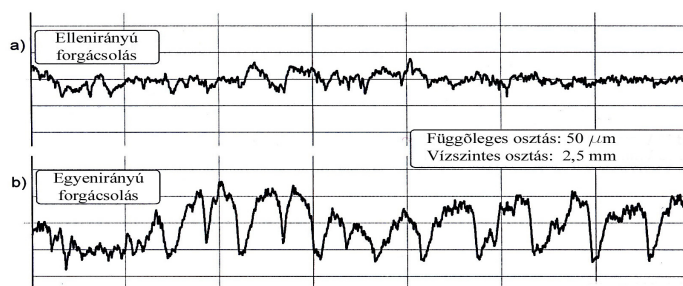
több a kiszakadt rost, mint magasnál”. Magoss (2000) erdeifenyő és bükk mintákon keresett hasonló összefüggéseket a vágási sebesség 10,20,30,40,és 50 m/sec értékei mellett. Kimutatta, hogy az R_z kezdeti magas értékei, hosszanti metszeten, 60-65 μm -ról a forgácsolási sebesség növekedésével 40 μm körüli értékre csökkennek (24.ábra). A két kutatási eredményt szintetizálva, levonható az a következtetés, hogy kedvezően alacsony értékei R_z -nek, fenyő és bükk mintákon, a forgácsolási sebesség 40-50 m/sec tartományában mérhetők.



24.ábra

3.2.8. Az egyen - és ellenirányú forgácsolás

A forgácsolás irányának hatását több szerző is vizsgálta. Kisselbach és Schadoffsky (1996) (25.ábra) mart fenyő felületen mérték a kinematikai érdességet és megállapították, hogy éles szerszám



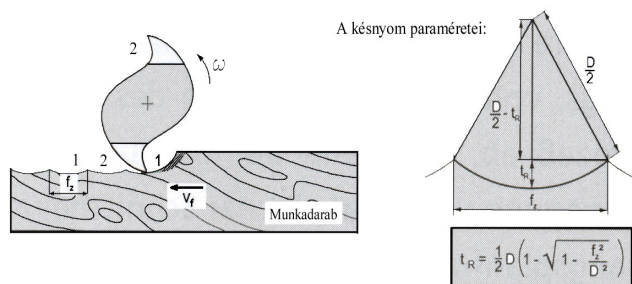
25.ábra

esetén nincs a felületminőségben kimutatható különbség, míg tompa szerszám esetén az egyenirányú forgácsolás kedvezőtlenebb, a tapintócsúcsos érdességmérés során kirajzolt profil durvább képet mutat. A kapott ered-

ményt a szerző a korai pászta nagyobb mértékű roncsolódásával magyarázta. Az üzemi gyakorlatban az ellenirányú forgácsolás az elterjedt. Ezzel szemben Heisel és társai erdeifenyő, lucfenyő és bükk minták vizsgálatokor a következőket találták: bármilyen beállítási szöggel mérték, egyenirányú forgácsolásnál mindig kedvezőbb a felületi minőség, mint ellenirányú forgácsolásnál (20.ábra). Az ellenirányú a gyakorlatban az elterjedtebb módja a forgácsolásnak, de az egyenirányú forgácsolás minden beállítási szög mellett jobb felületi minőséget ad.

3.2.9. A megmunkáló berendezés rezgésének hatása

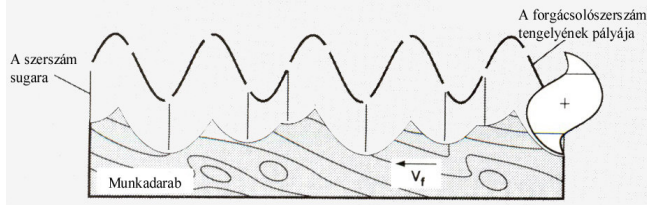
A megmunkálás során rezgések keletkeznek, úgy a szerszám kiegyensúlyozatlanságából, mint az alkatrész, valamint a gép forgó alkatrészei által gerjesztett gépváz rezgéséből.



26.ábra

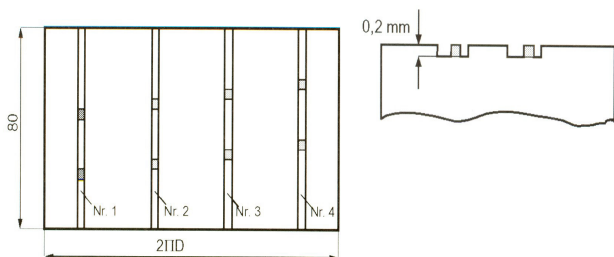
Rezgésmentes megmunkálási körülményeket feltételezve, a kés relatív mozgása egy ciklois profilt hoz létre (26.ábra). Több késes marófej esetén, egy második kés nem feltétlenül az első kés pályáját járja, akár, az előző által kialakított hullám csúcsát is lemetsheti, míg a marószerszám egyes élei különböző mélység-

ben hatolnak a fába. Heisel és Fischer 1992-ben, gyalulásra kidolgoztak egy szimulációszoftvercsomagot, amely, modellezni tudja, külön a tiszta kinematikai folyamatot és a gép dinamikus viselkedéséből származó hullámokat (27.ábra). Különböző, várható események programozhatók be és megadja a felület várható minőségét. A programot későbbi vizsgálataik során is felhasználták. A rezgés nagyságától függően, a felület megmunkálása során, más és más



27.ábra

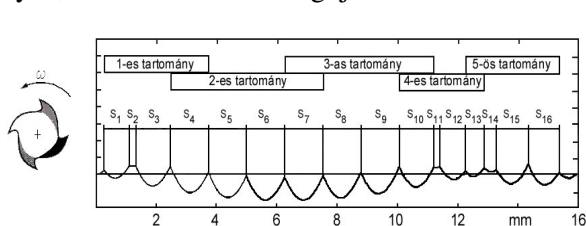
esetek fordulnak elő: előállhat, hogy négyből csak egy szerszám forgácsol és tulajdonképpen csak „egykéses” a finiselés. Bonyolódik a helyzet, ha egykéses finiselés esetén a forgácsolást ráadásul mindig másik él hajtja végre. Heisel és Krondorfer (1996) a gép rezgését vizsgálva ezt az esetet egykéses vegyes finiselésnek említik. A rezgésből adódó érdekesség azonosítására és mérésére két javaslatot tettek. Egyrészt mérték a **kinematikai**



28.ábra

érdességet rosttal párhuzamosan, de speciálisan átalakított, tapintócsúcsos érdességmérővel. Másrészt a forgácsolásban résztvevő élek utólagos azonosítása céljából speciális, helyenként köszörült, szerszámot használtak (28.ábra), majd az így megmunkált felület kiértékelésére egy WinIdent elnevezésű szoftvert fejlesztettek ki. A kialakított fej

kellően széles, így a pórusokon felfekszik, a leszorító ereje pedig olyan nagy, hogy a kiálló rostokat elnyomja, ezáltal majdnem „tisztá” kinematikai érdességet mér. A kinematikai érdesség mérésének legegyszerűbb lehetősége, hogy megadjuk az egyes késnyomok hullámhosszát, illetve hullámmélységét. Az R_z érték mintájára, Heisel és Krondorfer (1996) a mért hosszban belül, az egyes hullámhosszokból egy nem szabványos, kinematikai érdességi jellemzőt vezet be: a δ_z -t.



29.ábra

$$\delta_z = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 \delta_{\max i}, \quad \delta = \frac{2 \cdot |s_{i+1} - s_i|}{s_{i+1} + s_i}$$

ahol s_i az egyes késnyomok hullámhossza (29. ábra). A forgácsoló élek, vagyis a szerszám tengely és a munkadarab távolsága között információvesztés van, mert nem azonosítható

utólag, hogy melyik nyom, melyik késtől származik. A kérdés megválaszolása nagyban hozzájárul a rezgés és a felületi érdesség kölcsönhatásának tisztázásához. Egy négykéses, a pengék megköszörülésével előállított, ún. kódoló marófej és az azonosító szoftver lehetővé tették a δ paraméterek számolását és a rezgések okainak feltárását (28.ábra).

3.2.10. A termosimítás (vasalás)

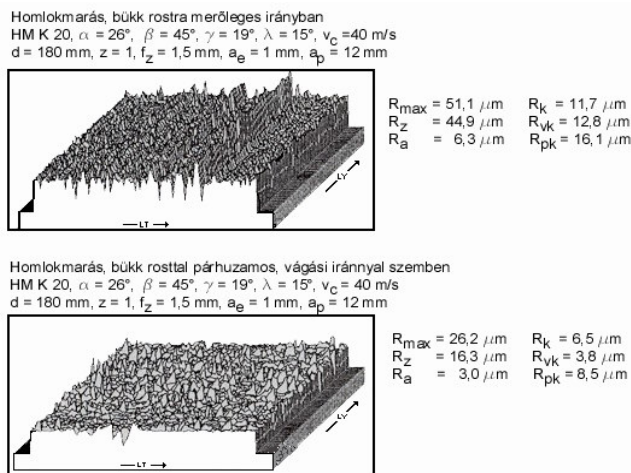
A termosimítás következtében a felfelület plasztifikálódik, a hő hatására nedvességet ad le, és a külső nyomás hatására a felületi réteg kisimul, anélkül, hogy kiálló rostok keletkeznének. Heisel és Tröger kimutatták, hogy luc fenyő, tölgy, bükk és éger fafajokat 180-200°C-ra felfűtött hengerekkel vasalva, 3-6 m/min előtolás és 1-4 MPa/cm nyomás mellett, a felület érdessége akár 38%-al csökkenthető. 1999-ben Wieloch vizsgálta furnérozott forgácslapok esetében, a csiszolás termosimítással való kiváltásának lehetőségét. A 100-as és 150-es csiszolópapírral csiszolt tölgy furnérokra a kapott eredmények rámutattak, hogy míg a vasalás hatására a felület érdessége csökken, addig, kétórányi magas páratartalommal való kondicionálás az érdesség nagymértékű növekedését okozza, a felület ily módon majdnem a kiinduló értékre érdesedik vissza.

3.2.11. A fazettázott él hatása

Ismert módon, a 90°-os sarkítással kialakított szerszám vágóél-vég hátrányosan befolyásolja a felületi minőséget. Tröger szerint, feltehetően a sarok körül egy deformációs zóna keletkezik, amely a mélyebb sejtrétegekre is kihat. A 90°-os élsarok nagyon erős terhelésnek van kitéve, így gyorsan kopik, majd a kitört él minden fordulat után nyomot hagy a felületen. Heisel és Tröger (2002) vizsgálták a vágóélsarok különböző szögek alatt ($\beta_F = 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 75^\circ$) történő leköszörülésének hatását. Erdeifenyő, lucfenyő és bükk minták vizsgálatakor, a legjobb eredmények $\beta_F = 75^\circ$ -ra adódnak, ebben az esetben R_k optimális, de 55°, 60°-ra is közel azonos R_k értékek jöttek ki. A kiértékelés rámutatott, hogy azok az optimalizált kések, melyeknek a β_F viszonylag nagy, kismértékű javulást hoznak a felületminőségben. Ez azzal magyarázható, hogy a mellékvágóél hát-szöge közel nulla, így a súrlódás következtében a faanyag felületét kisimítja.

3.2.12. A mérések rosttal bezárt szöge

A természetes faanyagok irányhoz kötött felületi változásai vannak. Westkämper és Fuß (1996) bükk, erdeifenyő és abachi mintákon, a forgácsolási sebesség különböző értékei mellett, R_z értékét mérték, rosttal párhuzamosan és rostra merőlegesen (30.ábra).

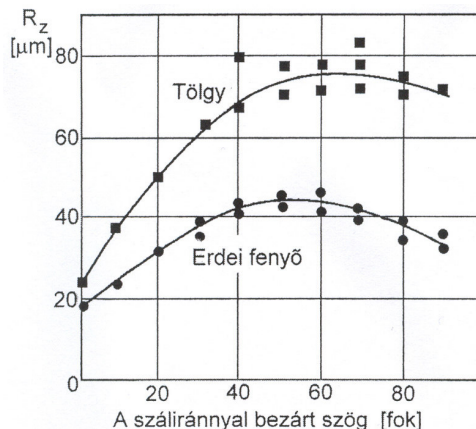


30.ábra

Az egyes mérések egymás mellé sorolásával 3D profilt vettek fel és megálapították, hogy míg rostra merőlegesen jól elkülönül a korai és kései pászta, addig rosttal párhuzamosan, a megmunkálási irányval „szembe” mérve, csak a kiálló rostok jól kivehetők. Erdeifenyőnél maradván, az érdesedés csak akkor mérhető, ha a felületet rostirányra merőlegesen tapogatjuk le, a hosszirányú letapogatásnál olyan felületet kapunk, amiből alig

lehet „kivenni”, hogy egyáltalán fafelületről van szó. Magoss (2000) tölgy és erdeifenyő mintákon (31.ábra) vizsgálta a mérések rosttal bezárt szögének hatását az R_z értékekre. Arra a megállapításra jutott, hogy a száriránnyal bezárt szög növekedésekor, az R_z érték növekszik, maximális értékét $50-70^\circ$ -os tartományban éri el, majd a 90° -os értékig kis-

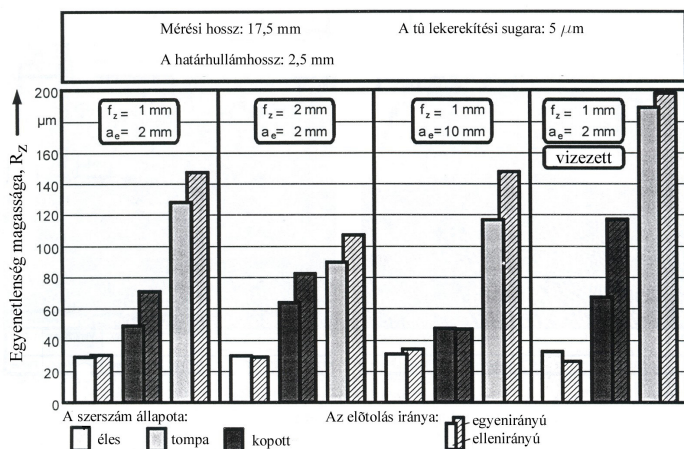
mértékben csökken. „A gyűrűs likacsú tölgy ferde vágása a szórást a $40-80^\circ$ -os tartományban még külön növeli, attól függően, hogy a nagyméretű edények éppen hol futnak ki a felületre”. A 90° -ot megelőző maximumot azzal magyarázza, hogy „a ferde áthaladás miatt az edények nagyobb keresztmetszetet adnak”. Sachse (1994) a mérések rostiránnyal bezárt szögével kapcsolatban kategorikusan kijelenti, hogy fafelületeket rostirányra merőlegesen célszerű mérni. Brigit és Östmann (1983) a rostokkal párhuzamosan mérve azt találták, hogy a rostkötegek megvezetik a tüt, így az érdességi értékek kedvezőbbek, a felület finomabbnak tűnik, mint valójában és ez akkor válik nyilvánvalóvá, amikor a tü kilépve egy ilyen rostok közti vezetőárból, „rostköteget ugorva”, nagy érdességi csúcsokat mutat. Megállapítják, hogy, „ezen megfontolások alapján, a rostokra merőleges mérési irány sokkal megbízhatóbb, reprodukálhatóbb és reprezentatívabb, mint a rostokkal párhuzamos”.



31.ábra

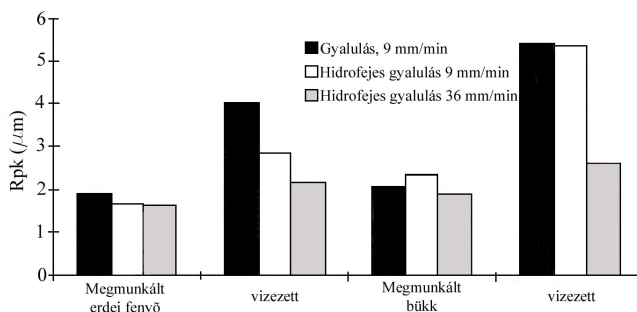
3.2.13. A vizezés hatása

Schadoffsky (1996) azt tapasztalta, hogy míg lucfenyőn, rosttal párhuzamos vágásirány-nyal, tangenciális metszeten, éles szerszámmal vágva, szignifikáns növekedés az érdes-



32.ábra

ségben nem tapasztalható, addig, tompa szerszámmal megmunkált fapelület vizezéskor magas érdeségi értékek adódnak. Hoffmeister és Riegel (1998) bükk mintán vizsgálták a vizezés majd a különböző vizes lakkokkal történő lakkozás felületi érdeségre gyakorolt hatását (32.ábra). Megállapították, hogy vizezéssel több rost emelkedik ki a felületből, mint vizes lakkozással. Az összehasonlításához viszonylag alacsony, 25 g/m^2 -es szárazréteget hordtak fel a felületre. Fuchs, Devantier és Emmeler (1997) gyalult és hidrofejes gyalun megmunkált fenyő, bükk és meranti R_{pk} értékének változását mérték vizezés hatására (33.ábra). Vizezés előtt az R_{pk} értékét összehasonlítva, erdei- és lucfenyő, illetve bükk és meranti esetében, nem találtak jelentős eltérést. A nagyedényes meranti R_z -je azonban a többi mintától nagymértékben eltér. A szerzők megállapítják, hogy ezért az R_{pk} érték alkalmasabb a fafajok érdeségének jellemzésére, mint az R_z . Ugyanakkor mérési eredményeket csak a fenyőre és bükkre közölnek, majd kijelentik, hogy

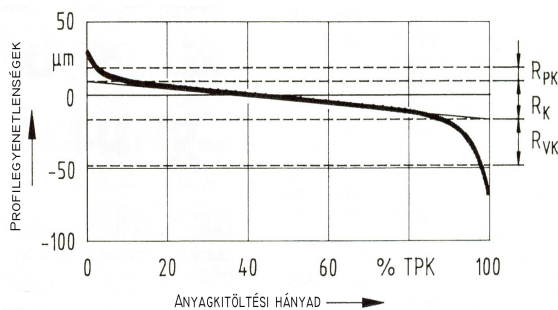


33.ábra

„merantinál éles szerszám mellett is, (amely a többi fajtánál már jó minőséget eredményezett) csak közepes érdeséget sikerült elérni”.

3.2.14. A megmunkálási és anatómiai érdeség szétválasztásának lehetősége

A hagyományos tapintócsúcsos mérőberendezésekkel nyerhető, szabványos érdeségi paraméterek vizsgálata során több szerző is arra a következtetésre jutott, hogy az Abbott görbe alkalmas a megmunkálási és szerkezeti érdeség szétválasztására. Westkämper, Riegel és Dreyer (1992) megállapítják, hogy az Abbott görbe három részre tagolható: a profilcsúcsok, a profil magrészt és a profilárkok tartományára (34.ábra). A szerzők véleménye szerint az R_k és



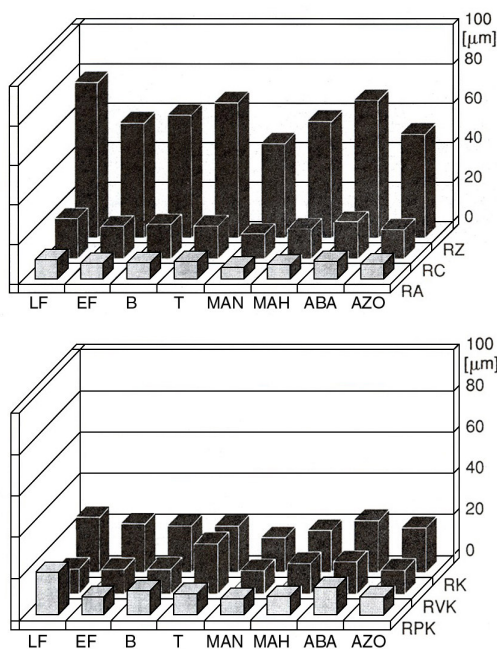
34.ábra

R_{pk} tartománya a megmunkálási, míg R_{vk} , az edények okozta szerkezeti érdességet tükrözi. Schadoffsky (1995) csiszolt minták felületi minőségének jellemzéséről szólva kijelenti, hogy R_{pk} a felületi érdességet, míg R_{vk} a pórusokat jellemzi. Heisel és Tröger (2002) úgy azonosítják az R_{pk} -t, mint a kiszakadt rostok, profilcsúcsok tartománya, R_k a megmunkálási struktúra (érdesség) míg R_{vk} a pórusok, edények jellemzője.

3.3. Csiszolt felületek

3.3.1. Minőségi kritériumok csiszolt mintákra

Westkamper és Riegel (1993) 80-as és 150-es szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt luc- és erdeifenyő, bükk, tölgy, mansonia, mahagóni, abachi és azobe mintákon (35.ábra) vizsgálták a strukturális és megmunkálási érdesség szétválasztásának lehető-



35.ábra

ségét. A strukturális érdesség becslésére a fajokat 1000-es finomságú csiszolópapírral utáncsiszolták mert a száraz csiszolással ellentétben nedves csiszoláskor a sejtek felső rétege nem szenved plasztikus deformációt, hanem a sejtfaalak mentén történik a réteg leválasztása. Továbbá fenyőnél így nem tapasztalható rostkiszakadás a korai és kései pászta határán. Az így előállított mintákat úgy értékelték, mint ami megmunkálási érdességtől mentes és nagyedényes fajokon R_{vk} -t a pórusok tartományaként azonosították. A felületeket lézérfókusz berendezéssel, rostirányra merőlegesen mérték, de megjegyzik, hogy nagyedényes fajoknál a pórusperemek nagyon meredek, ezért a dinamikus lézérfókusz nem mindig tudta jól követni a profilt. Statisztikailag értékelhető profilokat csak tölgynél, mansoniánál, és azobenél nyertek. Az R_{vk} nem érte el azt az értéket, amit az anatómiai szerkezet miatt várni lehetett. **Az R_z a profilárkokat együtt kezeli a profilfelülettel, ennek megfelelően tölgynél és egzótáknál nagyobb volt, mint fenyőknél és bükknél.** 80-as és 150-es csiszolópapírral csiszolt mintákon is ugyanezt tapasztalták. Következő lépésben, a mintákat vizezték és pórustöltést végeztek. A kapott eredményeket úgy értékelték, hogy a pórustöltés folytán a strukturális érdességet kiküszöbölték, így a tényleges megmunkálási érdességet lehet mérni. Vizsgálták az Abbott görbe paramétereit, megállapították, hogy minden egyes jellemzője csökkent. Az általánosan elterjedt szemléletnek megfelelően, R_{vk} -t a pórusmélységként, R_k -t a hordfelület, míg R_{pk} -t a kiálló rostok érdességeként azonosították pórustöltés után is. Ugyanakkor, arra a következtetésre jutottak, hogy R_k és R_{vk} között nem elég éles a határ ahhoz, hogy a szerkezeti érdességet pontosan el lehessen különíteni. A vizezés és a pórustöltés hatása R_{vk} -ra kisebb volt mint a csiszolószemcse által előidézett megmunkálási érdesség. Nem nedvesített felületek esetén, fenyőkön nagyobb R_{pk} értékeket mértek, mint keményfákon, vizezés után R_{pk} nőtt. Liptáková, Kudelá és Molnár-Posch (1995) bükk mintán R_a és R_t értékeit vizsgálva arra az eredményre jutot-

A megmunkálás fajtája	Az anatómiai irány	R _a		R _m	
		μm			
		x	s	x	s
Mikroton	rosttal párhuzamosan	1,208	0,939	5,444	3,815
	rostra merőlegesen	2,498	1,785	12,510	8,309
Csiszolás	rosttal párhuzamosan	0,720	0,497	3,448	2,150
	rostra merőlegesen	1,380	0,921	6,668	4,397
Palástmarás	rosttal párhuzamosan	0,661	0,621	3,202	2,814
	rostra merőlegesen	2,400	1,465	12,096	6,750
Hidrofejes gyalulás	rosttal párhuzamosan	1,085	0,900	4,974	3,806
	rostra merőlegesen	3,064	1,887	14,906	8,464

36.ábra

rabok a csiszolatpor egy részével együtt a felületbe visszanyomódnak, eltömítik a pórusokat és ez által az érdességi paraméterek kedvezőbb értéket mutatnak. Hofmeister és Riegel (1998) hagyományos szélesszalagú csiszológépen, 120-as szemcsefinomsággal csiszolt mintákat hasonlítottak össze 220-as szemcsefinomságú „Finischliff” csiszolókoronggal csiszolt mintákkal bükk, luc és tölgy fajokon. A hagyományos csiszolással szemben a csiszolókefék nyomán kevesebb rost maradt a felületen. A felületi érdességet tapintócsúcsos érdességmérővel mérték. Az Abbott görbét és a hozzá kapcsolódó érdességi paramétereket értékelve, a tölgy mintával kapcsolatban, a következő észrevételt teszik: „az érdesség méréshez, két különböző csiszolással előállított mintákon, a tapintással és elektronmikroszkópos felvételek segítségével egyaránt kimutatható, jelentős érdesség és szőrösség-különbség a **tölgy minta esetében érdességméréssel nem kivethető, jóllehet az R_{pk} és M_r értékekkel jól megfogható kellene legyen a kiálló rostok tartománya**”. A kapott eredményt azzal magyarázzák, hogy a sztochasztikusan elhelyezkedő kiálló rostok kisebb valószínűséggel mérhetőek pontosan kétdimenziós érdességi profilt szolgáltató érdességmérővel. **A tölgy esetében R_z értékére sem adódtak jelentős különbségek a két csiszolásmód között.**

3.3.2. A tapintótűs érdességmérés összehasonlítása a tapintással, csiszolt mintákon

Tekintettel arra, hogy a különbözőképpen megmunkált fafelületek érdességének mérése során kapott eredmények önmagukban még nem fejezik ki, hogy a felület jó minősége milyen érdességi paraméterrel társul, (Masayuki 1983) több szerző is vizsgálta a tapintással érzékelt érdesség és a mért értékek összefüggését (Suzuki, 1995). Sadoh, Takeuchi és Nakato (1983) 18 fenyőfélélt és 64 lombos fafajt vizsgálva arra az eredményre jutottak, hogy míg mind fenyőnél, mind nagyedényes faanyagnál a tapintással megállapított érdesség közel azonos, addig R_{max} mért értékei jelentős eltérést mutatnak. Az eredményt azzal magyarázzák, hogy a lombosfa nagy edényei megnövelték a mért érdességet. Yasuda (1983) a különböző kialakítású felületeket, 12 szórt és gyűrűs lika-csú lombos fafajon, 11 kifejezéssel jelölte meg és 9 cm hosszon, tapintótűs érdességmérővel, rostra merőlegesen mért, R_z értékekkel vetette össze. Az alanyok R_z~10 μm értéke mellett értékelték kedvezőnek a felület minőségét. Mothe (1995) a pneumatikus érdességmérés eredményeit vetette össze a tactil mérés eredményeivel, vadcsereznye, kocsányos és vörös-tölgy mintákon. **A szerző kiemeli, hogy míg a tölgy esetében a minták érdességét az alanyok megfelelőnek értékelték, a nagy edények miatt kedvezőtlen pneumatikus érdességi értékek adódtak. Vadcsereznye esetében az eredmények jól korreláltak.**

3.3.3. A mesterséges öregítés hatása, csiszolt mintákon

Kamdem és Grelier (2002) vizsgálták az UV abszorberrel és réz-aminnal kezelt juhar minták érdességének változását, mesterséges öregítés (UV sugárzás) hatására. Az érdességet tapintótűs mérőműszerrel, rostokra merőlegesen mérték. Azt találták, hogy a ke-

zelt minták érdessége a sugárzás hatására csökkent, a réz-amin nyilvánvalóan a felület bizonyos mértékű kisimulásához vezetett. A jelenség okai egyelőre még tisztázatlanok.

3.4. Következtetések a szakirodalom feldolgozása nyomán

1. A faanyagok érdességével kapcsolatos szakirodalmat áttekintve egyértelműen látszik, hogy a legtöbb publikáció elsősorban német nyelvterületről származik és többségükben a gyalulás, és marás összefüggéseit vizsgálják. Alig néhány publikáció foglalkozik a csiszolással.
2. A cikkekből kitűnik, hogy fafelületek mérésére elsősorban tapintótűs berendezéseket használnak. A szerzők nagy többsége, a fémipari szabványokra és a berendezésre támaszkodva-, kritika nélkül alkalmazza fafelületek mérésére és kiértékelésre, a rendelkezésre álló mérőműszert. A munkák alig egy kis része kérdőjelezi meg a mérőműszer és a mérési eljárás faanyagok mérésére és kiértékelésére való alkalmasságát és veti fel a felülvizsgálás szükségességét
3. Több szerző véleménye megegyezik abban, hogy-, az Abbott görbe paramétereit figyelembe véve-, az anatómiai és megmunkálási érdesség elkülöníthető, a megmunkálási- az R_{pk} és R_k , míg az anatómiai érdesség az R_{vk} értékekben tükröződik. Ezzel szemben a nagyedényes fajok érdességének vizsgálata során számos publikációban találkozunk azzal a megjegyzéssel, hogy a nagy edények jelenléte ellehetetleníti a kiértékelést. Megfigyelhető, hogy a nagyedényes fajok okozta kiértékelési problémákat a szerzők két úton oldják meg: egyrészt már a minták megválasztásánál kihagyják a nagyedényes fajokat, másrészt, amire szintén több példát is találunk, a nagyedényes fajokat visszavonják a minták sorából, amint kiértékelésre kerül sor. Szükség van tehát olyan módszer kidolgozására, amellyel a nagyedényes fajok felületi minősége jól értékelhető.
4. A mérések irányával kapcsolatban megállapítható, hogy a szerzők mindenkor a rostra merőleges mérési irányt választják, a döntést némelykor összehasonlító mérésekkel indokolva, vagy gyakran anélkül. A mért profilon, tehát rostra merőlegesen, értelmezik a hullámosságot és az érdességet. Ugyanakkor több szerző is, egymástól függetlenül úgy említi a hullámosságot, mint a rosttal párhuzamosan mérhető kinematikai érdességet, ami azt jelenti, hogy faanyagok esetében rostra merőlegesen, a megmunkálásból származó hullámot nincs értelme keresni. Mivel a méréseket a Mahr cég műszerével folytattam, érzékelttem azt a vizszátságot, hogy a mérőberendezések nem teszik lehetővé érdességi adatok számolását, anélkül, hogy az elsődleges P profilból hullámosságot és érdességet ne választanánk szét. Vagyis a mérések során a hullámosság rostra merőlegesen történő felvétele egy,- a mérőműszerrel velejáró kényszer.

5. A mérőműszerek a különböző érdességi R paramétereket kizárólag az R profilhoz rendelik hozzá, holott fafelületek mérésénél ez torzulást okoz a valódi felületi geometriához képest. Szükség lenne tehát az elsődleges profilhoz hozzárendelt érdességi paraméterek meghatározására és minősítő paraméterként való alkalmasságának vizsgálatára.

A fenti észrevételek tükrében, jelen munka a felmerült elvi megfontolások alátámasztását, az ellentmondások tisztázását illetve egy olyan módszer kidolgozását célozza, amely az edények eltávolításán alapszik, és lehetővé teszi, hogy a nagyedényes fajok felületi érdességének kiértékelését. Elsőként a P profilon végrehajtott mérések esetében érdességi paraméterek megállapítására volt szükség, az R paraméterek mintájára. A „P” paraméterek kialakítását és vizsgálatát az indokolja, hogy a jelenleg kézzel történő üzemi felületminősítés kiváltására törekedtem, ezért a kézi értékeléshez legközelebb álló, valóságos profil, az elsődleges profil kiértékelhetőségének megteremtésére, majd paramétereinek minősítő jellemzőként való alkalmasságának és alkalmazásának vizsgálatát tűztem ki célul. Annak érdekében, hogy a P paraméterek jelentéstartalmát összehasonlíthassam, elvégeztem a profilok edény és hullámosság szűrését. Így egyazon profilon vizsgáltam mind a P_z , mind az R_z paramétert, mind pedig azok egymáshoz való viszonyát, úgy, hogy az elsődleges profil szűrését egy robusztus becsléssel előállított hullám segítségével végeztem, azért, hogy a hagyományos Gauss szűrő okozta torzulásokat az R profilon elkerülhessem. Felvettem az azonos hosszúságú mért szakaszokon a W_z hullámparamétert is, amelyet R_z mintájára állítottam elő. Megvizsgáltam a nagy átvágott edényektől mentes bükk minta R_z és P_z értékeinek függését a szemcsefinomságtól, majd az edények kiszűrése után a többi vizsgált fajon is hasonló összefüggést kerestem. Megvizsgáltam a P_z/R_z hányados és a W_z hullámparaméter viszonyát, általános érvényű összefüggést keresve. Különböző felületminőséget adó csiszoló berendezéseken előállított akác mintákon megvizsgáltam a P_z/R_z hányados és a W_z hullámparaméter viszonyát. A P profil P_z paraméterének jellemzésére felvettem és megvizsgáltam a $P_z' = R_z + W_z$ paramétert és ezek egymáshoz való viszonyát.

Mivel a méréseket egyazon helyen többször is kell végezni, mindaddig, míg a minta és a mérőműszer relatív dőlése kiküszöbölhető, szükségesnek tartottam, a nagyedényes fajokon is, egyazon nyomban ismételt mérések végrehajtását, annak megállapítására, hogy ez milyen roncsolást eredményez a felületeken, és hogyan jelentkezik az érdességi paraméterekben.

Elvégeztem a különböző szemcsefinomsággal csiszolt nagyedényes fajok felületi érdességének feltérképezését, az edények kiszűrése folytán, annak igazolására, hogy az edények kiszűrése következtében az alapszövet (Molnár, 1999) érdessége jól korrelál a csiszolószemcse finomságával. Ezzel szemben az edények eltávolítása nélkül, semmilyen összefüggés nem mutatható ki.

4. Kutatási célkitűzések

Az anizotrop, inhomogén szerkezetű faanyagok érdekessége a szakirodalom szerint, két elkülönülő, de nehezen elkülöníthető érdekességből áll: egyrészt a valamilyen megmunkálással előálló megmunkálási-, másrészt a szöveti szerkezetből adódó, le nem küzdhető, anatómiai érdekességből. A megmunkálás módjától és a fafaj anatómiai sajátosságától függően ezek egymáshoz viszonyított aránya változó. Durva kialakítású, pl. fűrészelt felületeken a megmunkálási érdekesség olyan nagyságrendű, hogy elfedi az anatómiai szerkezet sajátosságából eredő érdekességet, így az nem is mérhető. Finoman megmunkált, gyalult, csiszolt felületeken a két érdekesség nagyságrendje már közeli. Nagy, átvágott edényektől mentes fafajokon (bükk, gyertyán, nyír, cseresznye stb.) a felület jó minőségét az alacsony érdekességi értékek jól tükrözik. Minél jobb a megmunkálás, annál kisebb a megmunkálási érdekesség. Fogalmazhatunk úgy is, hogy ez esetben nem szükséges valamely anatómiai összetevő miatt a megmunkálási és anatómiai érdekességet szétválasztani, mert nincs a fafajnak olyan anatómiai összetevője, amely a megmunkálási érdekességet jelentős mértékben felülfedné.

Nagyedényes fafajoknál (tölgy, akác, kőris, dió stb.) azonban az a helyzet áll elő, hogy az edények mélysége nagyságrendekkel meghaladja a megmunkálási érdekességet, ezért a mérési hosszba eső edények az érdekességi paraméterek torzulását idézik elő, elégtelen megmunkálást, nagymértékű érdekességet jelölve olyan felületen, amelyen elérték a jó megmunkálás felső határát. Az egy mérési hosszban előforduló edények számától és mélységétől függően, még egyazon mintán belül is különböző, élesen eltérő, felületi minőségre engednek következtetni az érdekességi paraméterek. Az edények méretének és számának fafaj-függő jellegzetessége tovább nehezíti a kiértékelést. Minél finomabban megmunkált a fafelület, annál jelentősebb az edények jelenlétének negatív hatása. A finoman megmunkált fafelületekkel szemben támasztott minőségi követelmények szűkessé teszik az edények zavaró jelenlétének kiszűrését, annak érdekében, hogy a megmunkálás minősége objektív módon minősíthető legyen. A finoman megmunkált (gyalult, csiszolt) fafelületek érdekességének objektív meghatározása a végtermék konstans, jó minőségének biztosítása érdekében elengedhetetlenül fontos. **A dolgozat fő célkitűzése** ennek megfelelően **egy olyan eljárás kidolgozása, amelynek segítségével, nagyedényes fajoknál, a mért profilból eltávolíthatóak (kiszűrhetőek) az edények,** lehetővé téve a megmunkáló eljárás minőségének megítélését.

Ugyanakkor teret kap, a nagyedényes fajok érdekesség mérése során felmerülő problémák tisztázása is, mert a faipar átvette és fafelületek minősítésére használja a berendezéseket, méréstechnikát és paramétereket, annak ellenére, hogy ezeket elsősorban fém, illetve egyéb homogén szerkezetű anyagok (üveg, műanyag, kerámia) mérésére fejlesztették ki. A legelterjedtebben alkalmazott tapintótűs felületi érdekességmérő - fafelületek mérésére való alkalmassága- felülvizsgálatra szorul, mivel a fa inhomogén, anizotrop szerkezetű anyag. Különösképpen a nagyedényes fafajok mérésénél van fennakadás mind a mérés, mind a kiértékelés tekintetében. A felülvizsgálat elsősorban annak tisztázására irányul, hogy:

- mi a célja a szűrésnek és ezzel szemben milyen hatása van,
- mi a hullámprofil információ tartalma rosttal párhuzamos és arra merőleges irányban,
- melyik profilt célszerű választani a kiértékeléshez faanyagoknál és miért,

- van-e megfelelő paraméter az érdesség jellemzésére a szűrés elhagyása esetén is.

A nagyedényes fafajok mérése során nemcsak az edények átmérője és mélysége rontja le a hordfelület kedvező érdességi értékeit, hanem a fém felületeknél jól bevált szűrési eljárásból is, a felület érdességi értékeit növelő összetevők adódnak. A szabványos mérések menetét betartva, az elsődleges profil szűrése során, a hullámosság- és érdesség profil szétválasztásakor, az érdességi profilon az edények szélei feltüremkednek, anyagot tüntetve fel ott, ahol valójában nincs is. A jelenség kedvezőtlen hatása elsősorban abban áll, hogy a pozitív tartományban megjelenő feltürt edényszélek még az edények eltávolítása után is bent maradnak, ráadásul a hordozó (profil magrészt) felülethez képest pozitív-, vagyis a megmunkálási érdesség tartományában. Ez az anomália az Abbott görbén is megjelenik és tükröződik annak paramétereiben. Mindezek fényében szükségessé vált a hagyományos Gauss szűrő kiváltása.

Finoman megmunkált - felületkezelés előtt álló - fafelületeknél, rostra merőlegesen mérve (az általános gyakorlatnak és irodalmi adatoknak megfelelően) nem releváns a kinematikai hullám. Bár a mért profilokhoz értelmezett a W_t hullámösszetevő, a szakirodalom eredményei is rámutattak, hogy igen elhanyagolt, a felületek érdességének jellemzésére elsősorban és szinte kizárólagosan az R profil paramétereit használják. Mellőzésének lehetséges magyarázata, hogy mivel a hullám tető és fenékvonala közötti távolságot jellemzi, nem ad kellő információt a hullám jellegéről. Mellőzése azonban jelentős hibát okozhat, abban az esetben, ha a felület hullámos is, érdességének R_z paraméterrel történő megadása a hullám mellőzésével akár azt is sugallhatja, hogy a felület simasága kedvező. A valódi, minősítendő felületet a hullámösszetevő és a mikroérdesség együttese adja. A vizsgált mintáknál kinematikai hullámra nem lehet számítani, ezért azt kell vizsgálni, hogy mennyiben térnek el az egyes esetekben a P profilok az R profiltól. Ha a felületnek nincs hulláma, vagy igen csekély mértékűt tud azonosítani a szűrő, akkor a P profil egyezik az R profillal. Ha van hulláma akkor viszont figyelembe kell venni, mind a mikroérdesség R_z jellemzőjét, mind a profil hullámjellemzőjét. Kettejük együttes figyelembe vétele azonban visszavezet ahhoz a problémához, hogy szükséges-e őket külön-külön elemezni, és ezáltal több információt kapunk-e, miközben rendelkezésre áll az a profil, mely mindkettőjüket tartalmazza. A szakirodalom tapasztalatainak tükrében felmerült az a kérdés, hogy szükséges-e a profilok szűrése hullámosságra, vagy hozzárendelt paramétereivel minősítés céljára alkalmas lehet a P profil is?! Ez esetben megoldandó feladat, számszerűsíthető érdességi paraméter hozzárendelése az elsődleges profilhoz, és a hullámprofilhoz a hagyományos R jellemzők mintájára, valamint az edénymentes R_z , „ P_z ” és „ W_z ” paraméterek összehasonlítható vizsgálata a további állásfoglalás kialakítása érdekében.

A mérés technikából adódóan, tapintótűs mérőműszerrel, azonos nyomban többször is szükséges mérni, mindaddig, míg a mintadarab és a mérőműszer relatív dőlése kiküszöbölhető. A túr roncsoló hatása vélhetően megmutatkozik az érdességi paraméterekben, ennek mértéke a vizsgált fafajok esetében meghatározandó.

A rostra merőleges mérésekkel felvett P és R profilt további edényszűrésnek vetve alá, meg kell vizsgálni, hogy kimutatható-e a várt korreláció, a csiszoló szemcse finomsága és a szűrt érdességi adatok között.

A mintafelületek csiszolással történő kialakítását első sorban az indokolja, hogy csiszolt felületen egyértelműen és eredményesen bizonyítható, hogy az edények kiszűrésével a megmunkálásra jellemzőbb paraméterek nyerhetők, mint edényszűrés nélkül. A fentiek mellett az edények kiszűrésére kidolgozott módszer HELYESsége is bizonyítható.

A fenti célkitűzések megvalósítása érdekében mindenképp előtérbe kell oldani a szabad hozzáférést az érdességi adatokhoz, annak érdekében, hogy az edények kiszűrhetőek legyenek, valamint, hogy érdességi paramétereket lehessen hozzárendelni az elsődleges P profilhoz. Ezért egy olyan számítógépes program megírására van szükség, amely lehetővé teszi a mérési adatok PC-re exportálását a Mahr cég Perthometer S3P típusú érdességmérő berendezéséből.

Az elvi megfontolások körvonalazódása után még egy program létrehozása szükséges, amellyel megvalósítható az edények megjelölése és részleges szűrése. Az edények maradéktalan kiszűrésére, meg kell határozni egy olyan hullámprofilt, amely az edények környezetében is megtartja eredeti amplitúdóját, majd a programot tovább kell fejleszteni, annak érdekében, hogy a részleges szűréssel még bent maradó edény-csonkok maradéktalanul kiszűrhetőek legyenek.

5. A kísérletek programja és metodikája

A dolgozat legfőbb célkitűzése, egy olyan módszer kidolgozása, amelynek segítségével, nagyedényes fajoknál, a mért profilból eltávolíthatók az edények. Nem céloom, a szakirodalomban anatómiai érdekességnek nevezett tényező definiálása és kiválasztása, mert a megmunkált fafelület anyagát, az **alapszövetet**, zömében a 3-20 μm közötti lumenátmérőjű rostok alkotják, az ő elvágásuk, esetleges felszakadásuk folytán lesz egyik megmunkálási eljárás során előálló felület, illetve megmunkálási érdekesség jobb, vagy kevésbé jó mint a másik. A megmunkálási érdekesség végső soron ezeken a rostkötegeken áll elő. A különböző fafajok alapszövege mind a rosthosszúság, mind a lumenátmérő tekintetében eltér, de egyazon fafajon belül is, jelentős szövetszerkezetbeli különbségek adódnak a termőhely és környezeti viszonyok függvényében. Ebben az értelemben nehezen lehetne leválasztani a megmunkálási és az „anatómiai” érdekességet. Azonban van az anatómiai szerkezetnek egy olyan összetevője, amely mind mélységében, mind szélességében jelentősen eltér a hordfelületet alkotó rostkötegek jellemzőitől: a nagyméretű pórus, illetve edény. Bár kétségtelen, hogy a kialakuló felületnek része ő is, de a megmunkálási érdekesség mérését oly mértékben ellehetetleníti, hogy a felület minőségének objektív megítélése érdekében, indokolt az edények eltávolítása a mért profilból. Ellenkező esetben nagyedényes fajokon lehetetlen a megmunkálás milyenségére vonatkozóan, koherens következtetést levonni, amit az alábbi hivatkozások is alátámasztanak:

”A nagypórusú tölgyet és merantit visszavontuk a vizsgált minták közül, mert nagyedényes fafaji sajátosságaik miatt az R_z értékekkel való bármilyen korreláció megállapítása lehetetlen volt.” (Hoffmeister-Kisselbach, 1997)

„A gyűrűs likacsú tölgy ferde vágása a szórást a 40-80°-os tartományban még külön növeli, attól függően, hogy a nagyméretű edények éppen hol futnak ki a felületre”(Magoss, 2000)

„merantinál éles szerszám mellett is, (amely a többi fajtánál már jó minőséget eredményezett) csak közepes érdekességet sikerült elérni.”(Fuchs 1997)

„a tapintással és elektronmikroszkópos felvételek segítségével egyaránt kimutatható, jelentős érdekesség és szőrösség-különbség a tölgy minta esetében érdekességméréssel nem kivehető, jóllehet az R_{pk} és M_r értékekkel jól megfogható kellene legyen a kiálló rostok tartománya.... A tölgy esetében R_z értékére sem adódtak jelentős különbségek a két csiszolásmód között.”(Hoffmeister-Riegel, 1998)

Más fafajoknál (vadcsereznye, bükk) a faanyag edénymentes szerkezetének köszönhetően a „visiotactil” mérések eredményei jól korreláltak a pneumatikus mérőberendezés által szolgáltatott nyomásesés értékekkel, míg a tölgy esetében a nagy edények miatt kedvezőtlen pneumatikus érdekességi értékek adódtak. (Mothe, 1985)

A különbségek meghatározása érdekében a mérési adatok kiértékelését mind az elsődleges P profilon, mind a hullámosság robusztus Gauss regressziós szűrővel történő szűrése után előállított R és W profilon elvégeztem, a különbségek vizsgálatára. Az edényszűrés módszer elvi megfontolásainak megfogalmazása után, elsőként a P profilhoz rendelt érdekességi paraméter meghatározása a cél. Az R érdekességi profilhoz nagyszámú érdekességi paraméter tartozik, melyeknek legtöbbször a faiparban nem használják fel. Az R_t és a maximális érdekesség érthető módon nem használatosak jellemzésre, mert

az előbbi olyan kiálló rostokat is tartalmaz, amelyek a használat során vélhetően elkopnak vagy elhajolnak, az utóbbi pedig legfeljebb a legmélyebb edény jellemzésére alkalmas.

A leggyakrabban használt érdességi paraméterek: az R_a , R_z , R_{pk} , R_k és R_{vk} . Az átlagos érdességet több szerző is vizsgálta, de mindannyian arra az eredményre jutottak, hogy meghatározásának módjából adódóan, az R_a érték túlságosan nagymértékben átlagol ahhoz, hogy érzékeny mutatója lehessen a felület kisebb nagyobb érdességi eltéréseinek (Westkämper, 1993). Ezzel szemben nagyedénytől mentes fafajokon, az R_z érdességi paramétert több publikációban is megfelelően találjuk a felület érdességének jellemzésére. A szerzők némelykor megindokolják R_z választását és alkalmasságát, máskor azonban egyszerűen csak R_z -t adják meg, mint a fafelületet jellemző érdességi paramétert. A választás azzal indokolható, hogy ez az érdességi paraméter, meghatározásából adódóan a mérési hossz 5, egymást követő szakaszán található, 5 legnagyobb érdességi érték átlagából képződik, így jobban tükrözi a felület egyenetlenségét, mint a nagymértékben átlagoló R_a . Az Abbott görbe paraméterei viszonylag gyakran szerepelnek a szakirodalomban, azonban mindig azzal a szándékkal, hogy a megmunkálási és anatómiai érdességet segítségükkel elkülöníthessék.

A P profilhoz nincsen szabványosan hozzárendelt érdességi paraméter. Figyelembe véve, hogy a szakirodalomban melyek azok a paraméterek, amelyek jól használhatók a fafelület érdességének jellemzésére, az elsődleges profilhoz a következő paramétereket rendeltem hozzá:

- P_z az érdességi profil R_z értékének mintájára
- P_{pk} az érdességi profil R_{pk} értékének mintájára
- P_k az érdességi profil R_k értékének mintájára
- P_{vk} az érdességi profil R_{vk} értékének mintájára

A Perthometer S3P-vel folytatott mérések során, a mintadarabok befogásából adódóan, a munkadarabnak és a tűnek a relatív dőlését ki kell küszöbölni. Minden egyes mérés után ellenőrizni kell, hogy mennyire sikerült a dölést korrigálni. Kedvezőtlen esetben ez akár azt is jelentheti, hogy 4-5-ször mérünk egyazon nyomvonalban, mire a relatív dölést sikerül nullára csökkenteni. Méréseket kell végezni annak kiderítésére, hogy az ismételt tűhúzás milyen mértékű változást okoz a vizsgált fafajok felületi érdességében, annak érdekében, hogy a mérések mindenkor reprodukálhatóak legyenek. A keresztirányban 10 μm pontossággal mozgatható befogó asztal lehetővé teszi, hogy a mérendő alkatrészt a dőlés redukálása után, a regisztrált adatok lemérése előtt, kevéssel arrébb vigyük, azonban a mérés illetően kivitelezését mindenkor pontosítani kell, illetve publikáláskor, mint fontos körülményt, a mérések reprodukálhatósága érdekében meg kell adni.

A rostra merőlegesen lefolytatott mérésekkel felvett P profilt további edényszűrésnek vetem alá. Megvizsgálom több nagyedényes fafaj elsődleges profiljának gyakorisági görbéjét. A szűrt és szűretlen profilok P_z értékeit összevetve, jelentős különbségek kimutatására számítok. Az elsődleges profilokat további hullámosság szűrésnek vetve alá (robosztus Gauss regressziós szűrővel) R profilokat is előállítok egyazon mérés R_z és P_z paramétereinek összevetése érdekében. A legnyilvánvalóbban csiszolt felületen tudom bizonyítani, hogy az edények kiszűrésével a megmunkálásra jellemzőbb paraméterek állnak elő, mint edényszűrés nélkül, valamint azt, hogy az edények kiszűrésére kidolgozott módszer HELYES, így az egyes fafajokat különböző szemcsefinomsággal csiszolva, vizsgálom, hogy kimutatható-e a várt korreláció, a csiszoló szemcse finomsá-

ga és a szűrt profil érdességi adatai között. Amennyiben sikerül korrelációt kimutatni, mind az edények szűrésének módszere, mind a vizsgálati eredmények, betöltik a szakirodalomban fellelhető hézagot, ami a nagyedényes fajok mérését és kiértékelését illeti.

A méréseket $5\mu\text{m}$ lekerekítési sugarú, tapintócsúcsos érdességmérő berendezéssel hajtom végre. A mért adatokat PC-re exportálom, a további feldolgozást egyrészt Microsoft Excel, másrészt a CurveCut program segítségével végzem.

5.1. A próbatestek kiválasztása, jellemzése, előkészítése

A próbatestek kiválasztása során elsődleges szempont volt, hogy azok valamely, jellemzően nagyedényes, hazai fafajt képviseljék. Az edények kiszűrésére kidolgozott módszerrel nyert érdességi adatok összevetése céljából, a minták sorába felvettem a finomporusú bükköt is. A vizsgált fafajok ennek megfelelően a következők: fehér akác (*Robinia pseudo-acacia*), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), magas kőris (*Fraxinus excelsior*), nyír (*Betula pendula*) és bükk (*Fagus silvatica*). A próbatestek kialakításakor és darabszámának meghatározásakor az MSZ 319-76 „Faanyagok mintavétele és fizikai-mechanikai tulajdonságok vizsgálatának általános előírásai” című szabvány előírásait figyelembe vettem. Fafajonként 65 mintadarabot készítettem, úgy, hogy a mintákat azonos rönkből vágják ki, a tangenciálistól radiális fele haladó metszeti képet mutatva. A minták mérete: $100 \times 45 \times 8$ mm. A faanyagok száliránya minden esetben megegyezett a kialakított próbatest hosszirányával. A minták jelentős fahibákat nem tartalmaztak. A próbatesteket 12%-os nedvtartalomra szárítottam le az MSZ 6786-3/1988-nak megfelelően.

5.1.1. A vizsgált fafajok szöveti és műszaki jellemzői (Molnár, 1999)

5.1.1.1. Fehér akác (*Robinia pseudo-acacia*)

Magyarországon 320 ha erdőterületet foglal el. Szíjácsa keskeny, világos zöldessárga, gesztje sötétebb zöldessárga színű, vörösesbarnáig változva. A gyűrűs likacsú akácfa, jól elkülönülő évgyűrűkből és azon belül korai és késői pásztákból áll. A korai pászta nagy átmérőjű edényei (**200-250 μm**) szabályos sorokat, gyűrűt alkotnak. A kései pásztában az edények kisebb átmérőjűek (**70-140 μm**) (Babos-Filló, 1979). Lumenátmérő: **3-8,2 μm** . Edényei a legfiatalabb évgyűrűtől eltekintve, világossárga színű tilliszekkel vannak tömve. Az edényeket világos színű hosszparenchima veszi körül. Sugárirányú hosszmetsetén az edények árokszerű metsetei az évgyűrű korai pásztájában szabad szemmel is jól láthatók. Nyomószilárdsága 62-81 Mpa.

5.1.1.2. Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*)

A hazai erdők mintegy 13 %-át teszi ki. Szíjácsa keskeny, sárgásfehér, gesztje sárgásbarna. A korai pásztában nagy üregű edényei (**125-300 μm**) (Babos-Filló, 1979) az évgyűrűhatárnál több sorban helyezkednek el, a gesztben erősen tilliszesek és szabad szemmel is jól felismerhetők. A késői pásztában a fokozatosan szűkülő edények (**30-140 μm**) radiális sort alkotva, villás elágazást mutatnak a szélesebb évgyűrűkben. Lumenátmérő: **6,5-22 μm** . Nyomószilárdsága 48-70 MPa.

5.1.1.3. Magas kőris (*Fraxinus excelsior* L.)

A hazai erdők 1%-át borítja. Szíjácsa széles, világos, vöröses sárgásfehér, gesztje valamivel barnább, de a világos rajzolatú fatestben a szíjács és a geszt alig különíthető el. A likacsgyűrű széles, világos színű, az edények nagyok és jól láthatók. A korai pászta nagyméretű edényei (**200-300 μm**) (Babos-Filló, 1979) gyakran tartalmaznak tilliszeket. A késői pásztában az edények átmérője **15-130 μm** (Babos-Filló, 1979). A lumenátmérő: **5,3-15 μm** . Az alapszövetet 60-65 %-ban a nagytömegű libriform rostok alkotják. Nyomószilárdsága: 23-80 Mpa.

5.1.1.4. Bükk (*Fagus silvatica* L.)

A hazai erdők 6,6 %-át teszi ki. Színes geszt nélküli fájának színe, száraz állapotban enyhén vörösbe hajló fehér. Szórt likacsú fafaj, élesen látható évgyűrű határokkal. Évgyűrűn belül a két pászta nem különül el, de a késői rész sötétebb a korainál, ezért az évgyűrű határ éles. Számos szórtan elhelyezkedő pórusa egyik vágási irányban sem tűnik elő jelentősen. Az edények szórt helyzetűek. Magányosak, vagy ikerpórust alkotva találhatók. A korai és kései pászta edényei között nem nagy a méretbeli különbség, átmérőjük **30-10 μm** . A rostok lumenátmérője: **3,5-7,1 μm** (Babos-Filló, 1979).

5.2. A mérőműszer és a mérés módja

5.2.1. A választott mérőműszer: Perthometer S3P szerkezeti részei (Sander, 1991)



37.ábra: Az érdességmérő műszer és tartozékai

5.2.1.1. Az előtolómű

Magába foglalja a tűt melyet végigvontatja a felületen, miközben a mért egyenetlenségeket elektromos jellé alakítja, majd a mérés után elemeli a tűt a felületről és visszajuttatja az eredeti helyzetébe. Az előtolómű nanométer nagyságrendű érdességet is érzékel, annak köszönhetően, hogy a tű súrlódásmentesen forog egy csapágyon. A gyémánt hegyű tű általában kúpos és 90° (egyes esetekben 60°)-os szöge van. A tű lekerekítési sugara általában $5\ \mu\text{m}$ (bizonyos esetekben $2\ \mu\text{m}$). A tű nyomóereje általában $0,7\ \text{mN}$, de nagyon puha anyagok esetén lehetőség van ennek $0,4\ \text{mN}$ -ra való lecsökkentésére. A mintavételi lépköz: $2,20\ \mu\text{m}$.

5.2.1.2. A meghajtó egység

Egyenletes sebességgel hajtja az előtolóművet, egyenes vonal mentén, a mérendő felületen. Csúszótalppal szerelt formában a meghajtó egység nemcsak érdesség, hanem nagyléptékű felület egyenetlenségei (hullámosság és alaki eltérés) felvételét is lehetővé teszi. Az előtolási sebesség általában: $0,1\text{-}0,5\ \text{mm/s}$.

5.2.1.3. Az erősítő

Az előtolómű által szolgáltatott elektromos jelet erősíti.

5.2.1.4. Az elektromos szűrő

A mért profilt hullámossági és érdességi profilra bontja. Ennek érdekében a hullámossági profilon egy ún. középvonalat állapít meg, majd az érdességet ettől a középvonaltól a mért távolságként értelmezi. Felülvágó szűrőt alkalmaz a nagy hullámhosszú hullámosság kiszűrésére, és alulvágó szűrőt a rövid hullámhosszú érdesség szétválasztására. A berendezés Gauss és RC szűrésre is alkalmas, az összes fémiparban normált felületi jellemző meghatározására képes.

5.2.1.5. A számítógép

Digitális gépi adatfeldolgozó, mely a különböző profilokhoz tartozó paramétereket számolja ki és megjeleníti a digitális kijelzőn, illetve kiadja nyomtatott formában is. A profilt különböző vertikális és horizontális nagyítással jeleníthetjük meg, a modern mérőműszerek a profildiagram mellett az érdességi paramétereket, a mérés körülményeit, a skálabeosztást is közlik.

5.2.1.6. A mérőműszer kiegészítése

Állványszerkezet, amely a mérőfejet rögzíti, biztosítja a mintadarab befogását, lehetővé teszi a 10 µm-enkénti pontos léptetést, a mintadarab forgatását X-Y síkban, valamint a mérőfej döntését, a függőlegeshez képest 1°-onként, ±12°-ig, és kellően súlyos ahhoz, hogy a környezeti rezgéseket ne vigye át a mérőfejre. A függőleges tengely egyik legfontosabb állítási lehetősége, a dönthetőség, mert minden egyes minta mérése során ki kell küszöbölni a mintadarab és a tű relatív dőlését. Hasonlóan fontos elvárás, hogy a mintát keresztirányban 10 µm-enként léptetni tudjuk, egyrészt hogy a dőlés redukálása után új nyomban tudjunk mérni, másrészt, hogy a 3D mérésekre is alkalmas legyen.

Az exportáló program: a mérőműszer a mért profilt papírcsíkon, nyomtatott formában jeleníti meg, az érdességi profilhoz számolt paramétereket digitálisan közli, tárolja, vagy kinyomtatja. A mért adatokhoz való hozzáférés szükségessé tette egy exportáló program létrehozását, annak érdekében, hogy az adatok PC-re hívhatók és így tovább feldolgozhatók legyenek. A mérőműszert és a számítógépet RSC 232-es kábellel összekötve, egy ASCII formátumban írott programmal megvalósítható az adatok exportálása. A „Konferi” fájlban megnyíló ablak lehetőséget kínál egy öt betűből álló fájlnevet beírására, majd „mérés indul i/n” kérdésre vár választ. Igenre, a program a műszert kívülről vezérelve, elindítja a mérést. Nemleges válaszra felajánlja az „új mérés indul” lehetőséget. A mérés végeztével megválaszolendő, hogy „a mérés rendben lezajlott? i/n”. Az igen kaput választva pontosítandó a mérési szakaszok száma, az áthívott profil- valamint a szűrő típusa, amelyet értelemszerűen csak az R profil előállításához használ. Mindezen paraméterek megadása után megkezdődik az adatátvitel. Az 5670 adat áthívása közel 4 percig tart. A művelet végén a program hangjelzést ad, majd kiírja „adatátvitel rendben lezajlott?”, igenre „kér másik profilt erről a mérésről?” kérdés jelenik meg, annak érdekében, hogy azonos adatsorhoz minden profiltípus áthívható legyen.

Az edényszűrő, CurveCut program: Borland Delphi programnyelven íródott. A rutint Dr. Alpár Tibor készítette, az általam definiált algoritmus alapján. Az adatok behívása után megjeleníthető segítségével az érdességi profil, különböző felbontás mellett a gyakorisági görbe, kijelölhető a kivágandó tartomány és választólagosan megadható a kivágandó értékek helyettesítési értéke. A program, az edények eltávolítása után, megrajzolja az érdességi profilt és a gyakorisági görbét, továbbá lehetőséget kínál az adatok exportálására. További optimalizálása folytán, a szűrt adatok és a megadott hullámprofil adatait egyenlőtlenességi relációban elemezve, lehetővé teszi a szűrés után a profilban maradó edénycsonkok eltávolítását. Az edények kiszűrése után előálló profilon újra számolja a regressziós egyenest és az kiszűrt edények széleit összehúzza.

5.2.2. A mérés módja

5.2.2.1. Az azonos nyomban végzett mérések

Azonos nyomban 20-szer ismételt méréseket hajtottam végre akácon, annak vizsgálatára, hogyan változik az érdesség. A tapasztalatok alapján 3-4 igazítással a dőlés már jól korrigálható. Az akác választását az indokolja, hogy egy olyan hazai fafaj, melynek szélesebb körű felhasználása várható, mind kültéri, mind pedig beltéri fatermékek gyártásában.

5.2.2.2. A különböző szemcsefinomsággal csiszolt minták

Fafajonként a következő mintákat alakítottam ki:

Fafaj	Szemcsefinomság												
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
Akác	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tölgy	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Kóris	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nyír	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Bükk	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

38.ábra

5.2.2.3. Összehasonlítás más programmal

Összehasonlításra a Mahr cég Feinprüf Perthen Profilmanager programjával, 20 darab 180-assal csiszolt akác mintát alakítottam ki: a mintákon felvettem a különböző D, W, P, R profilokat. A helyszínen, a program segítségével a vizualizált érdességi profilba beállva, manuálisan kijelölve az eltávolítandó részeket, megjelöltem az edényeket a kezdő és a végső adatra kattintva, és kivágtam a profilból. Az előállított, nagy átvágott edényektől mentes profilhoz újraszámolt érdességi paramétereket vettem fel. A program a mért adatokhoz nem enged hozzáférni, így a mérések nyomvonalát megjelöltem, majd a saját mérőműszerünkkel azonos nyomvonalban újramértem. A Profilmanagerrel létrehozott edénymentes profilokat és paramétereket a kidolgozott módszerrel előállított, nagy átvágott edényektől mentes profilokkal és paraméterekkel hasonlítottam össze.

5.2.2.4. Kézi csiszológépen és kontaktcsiszolón előállított minták R_z és P_z értékeinek összehasonlító vizsgálata

120-al, 150-el és 180-al csiszolt mintákat alakítottam ki, minden szemcsemérethez 5 darabot, úgy, hogy kézi és gépi csiszolón is készült 5 felület azonos csiszoló szemcse finomsággal.

5.3. A mérendő felületek kialakítása

A mintadarabok felületének csiszolását a Nyugat-Magyarországi Egyetem Tanműhelyében, kézi csiszológéppel végeztem, SIA márkajelzésű, különböző szemcsefinomságú, új, 75 x 533 mm-es, végtelenített csiszolóvászna felhasználásával. A csiszolóvászna szemcsemérete a következő: 60, 80, 100, 150, 180, 220, 240, 280, 320, 400, 500, 600. A vásznakat, a gyártó ajánlásának valamint az ISO 4586-2-nek megfelelően, a felhasználást megelőzően, 72 órán keresztül $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ -on és 45 % relatív páratartalomra kondicionáltam. A korund csiszolószemcséket elektrosztatikus úton, műgyantával rögzítették a magas flexibilitású ún. hajlékony vászonra. A szemcseesőrat zárt rendszerű. A minták felületéről a csiszolatport finomszűrű, porszivóhoz csatlakoztatott kefével távolítottam el.

5.4. A kiértékelés menete

A kiértékelést személyi számítógép, a görbék illesztését Excel, az Abbott görbék előállítását SPIP program segítségével végeztem. A korrelációs együtthatókat (Kozák, 1990) „A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása” segítségével határoztam meg.

5.5. A kísérletek körülményei

A kiértékelt profil az elsődleges P profil és a robusztus Gauss regressziós hullámszűrővel előállított R profil

A mérések iránya rostra merőleges

A mérési hossz: 12,5 mm

A vizsgált paraméterek: P_z , P_{pk} , P_k , P_{vk} , valamint a robusztus Gauss regressziós hullámszűrővel előállított W_z és az R profil R_z paramétere.

A hagyományos Gauss szűrő kedvezőtlen hatásainak kimutatására, 2,5 mm (néhány esetben 0,8 mm) határ hullámhosszú, Gauss szűrővel nyert, R profilt mértem. A vizsgált jellemzők: R_z , R_{pk} , R_k és R_{vk} .

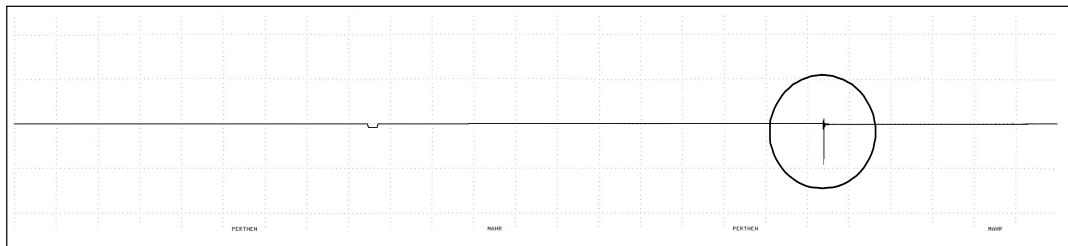
A tű nyomóereje: $F=0.9$ mN

6. A kutatómunka eredményei, a mérési eredmények kiértékelése

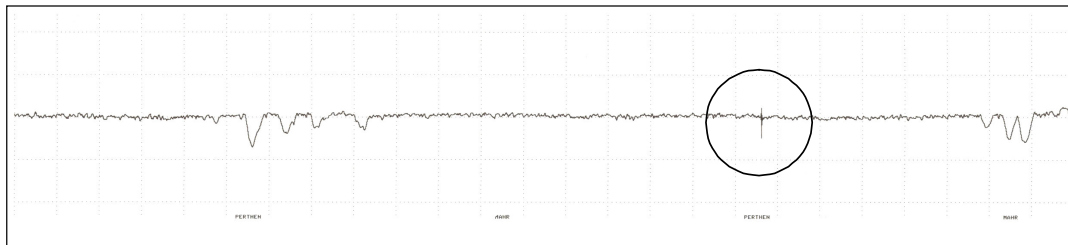
6.1. Előzetes vizsgálatok

6.1.1. A mérési hiba

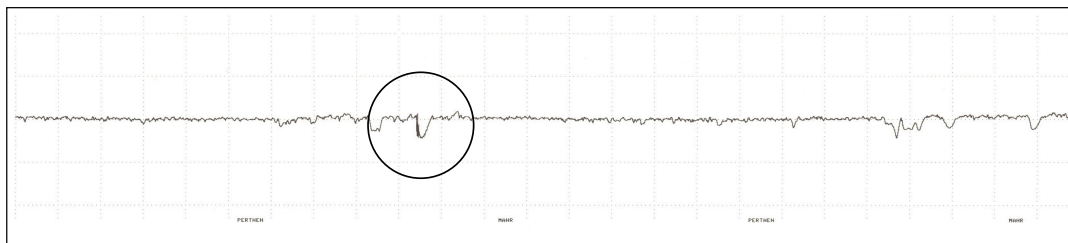
Az alábbiakban ismertetésre kerülő profilokon (39-41.ábra) olyan véletlenszerű hibákat láthatunk, melyek a mérőműszer mérés közbeni rezgésbe hozásából származtak. A levont következtetés szerint, célszerű a mérőműszert olyan súlyos állványzatra rögzíteni, amely megakadályozza a környezeti rezgések átvitelét a mérőfejre.



39.ábra



40.ábra



41.ábra

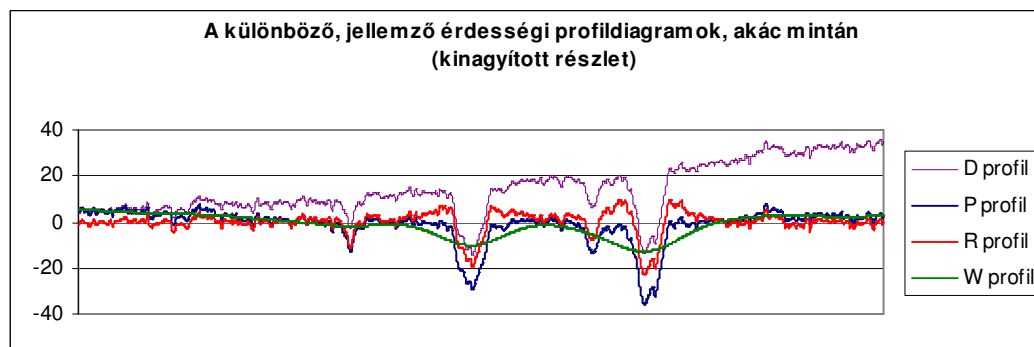
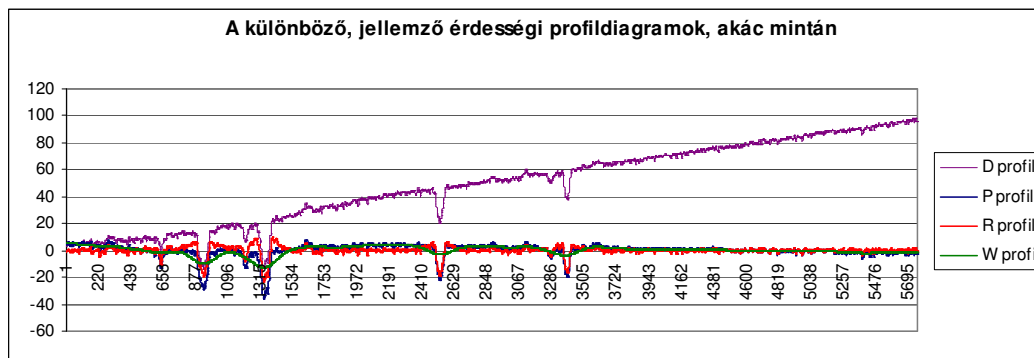
6.1.2. Mérés a hagyományos eljárással

6.1.2.1. A mért profil

A mért profil elméleti megfontolásból a következő összetevőket tartalmazza:

- D profil
- P profil
- W profil
- R profil

vagyis: dőlés, hullámosság és érdesség (Sachse, 1994). Az úgynevezett D profil minden korábban említett összetevőt tartalmaz úgymint: hullámosság, érdesség, az adatfelvétel módjából adódóan ferde, továbbá tartalmazza a helytelen (nem vízszintes) befogásból származó dőlést is. A D profilon egy regressziós egyenes felvétele, majd ennek x koordinátaként való értelmezése és dőlésének korrigálása folytán az úgynevezett elsődleges, P profilt kapjuk, amely még tartalmazza úgy a hullámosságot, mint az érdességet. Kiszűrve a hullámosságot (W) a P profilból, az érdességi (R) profilhoz jutunk. A szabványos érdességi paramétereket az R profilból származtatjuk (42.ábra).



6.1.2.2. A W profil

A hullámosság és érdesség szétválasztása a mérési hossz és a határhullámhossz függvényében történik. Az ajánlott határhullámhossz megegyezik az egyedi mérési hosszal, esetünkben a kiértékelési hossz $l_m=12,5$ mm, az egyedi mérési hossz $l_e=2,5$ mm, így a határhullámhossz $\lambda_t=2,5$ mm. A mérőműszer lehetőséget kínál egy rövidebb, $\lambda_t=0,8$ mm hullámhossz választására is. A 45. ábrán megfigyelhető, hogy a rövidebb hullámhosszú szűrőt választva a W profil szorosabban követi az elsődleges P profil változásait.

6.1.2.3. A profilszűrés

A mérőműszer két szabványos szűrő választását teszi lehetővé: az ún, RC és Gauss szűrőt. A régebben alkalmazott RC szűrőknél a határhullámhosszt a szűrő 75%-ban viszi át, míg a Gauss szűrő 50%-ban.

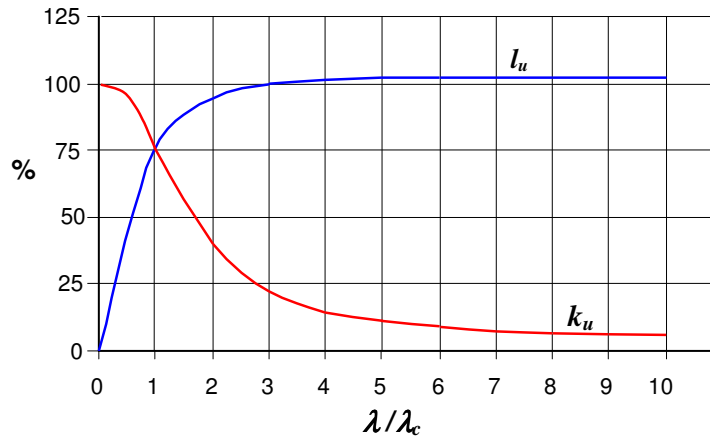
A régi de szabványos (ISO 3274/1975) **RC szűrők** karakterisztikája:

$$k = \frac{3}{3 + \frac{\lambda^2}{\lambda_c^2}} \cdot 100\%$$

Ahol:

- k : az RC szűrők súlyozó függvényből gyors Fourier Transzformációval (FFT) származtatott átviteli jellemzője;
- λ : az egyenetlenség hullámhossza
- λ_c : a határhullámhossz amely a szűrő azonosítója

RC szűrőknél λ_c annak a szinuszgörbének a hullámhossza, amelynek amplitúdóját a szűrő 75%-ban viszi át (43. ábra). Ha $\lambda=5\lambda_c$, akkor az átviteli együttható még mindig magasabb mint 10%, másrészt, ha $\lambda=0,3\lambda_c$, akkor még mindig csak $k=97\%$. Amikor analóg RC szűrőt használunk, az érdességi profilt egyrészt fáziseltolódás, másrészt ún. „overshooting”, túlmodulálás torzítja el (Tomasik-Rudzinski, 1999). Az RC szűrőket ezért nem alkalmazzák, a gyakorlatban a Gauss szűrők alkalmazása terjedt el.



k_u – érdesség átviteli együttható

I_u – hullámossági átviteli együttható

43.ábra: Az RC szűrő átviteli jellemzője

A Gauss szűrő, a legáltalánosabban használt szűrő, amely az elsődleges profil érdességi adatait egy csúszó Gauss görbe valószínűségi értékeivel szorozva súlyozza, és állítja elő ennek eredményeképpen a hullámossági profilt, mely egyben az elsődleges profil középvonala. A súlyok a Gauss görbéből származnak, amelynek meghatározzuk, a határhullámhosszát. Az ISO 11562 szerint ajánlott határhullámhossz 2,5 mm, de a műszer 0,8 mm-es, nem szabványos határhullámhossz választására is lehetőséget ad. A hullám-

profil helyi értékei, az elsődleges profil érdességi értékeiből a Gauss sűrűség függvény egyenletéből adódnak az ISO 11562 szerint:

$$s(x) = \frac{\sqrt{\pi}}{\lambda_c \sqrt{\ln 2}} e^{-\left(\frac{\pi \cdot x}{\sqrt{\ln 2} \cdot \lambda_c}\right)^2} \quad \text{és} \quad \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} = 0.4697$$

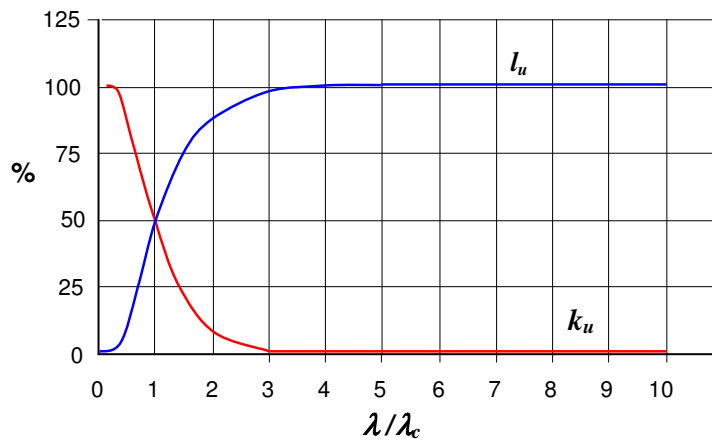
Ahol:

- s(x): a súlyozó függvény
- x: a súlyozó függvény középpontjához viszonyított pozíció
- λ_c a profil szűrő határhullámhossza

A szűrő karakterisztikája:

$$k = 1 - e^{-\pi \cdot \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \cdot \frac{\lambda_c}{\lambda}}$$

A Gauss görbe határhullámhossza annak a szinusz görbének a határhullámhosszával egyenlő, amelynek amplitúdóját a szűrő 50%-ban viszi át a hullámossági és érdességi profilba a (44. ábra).

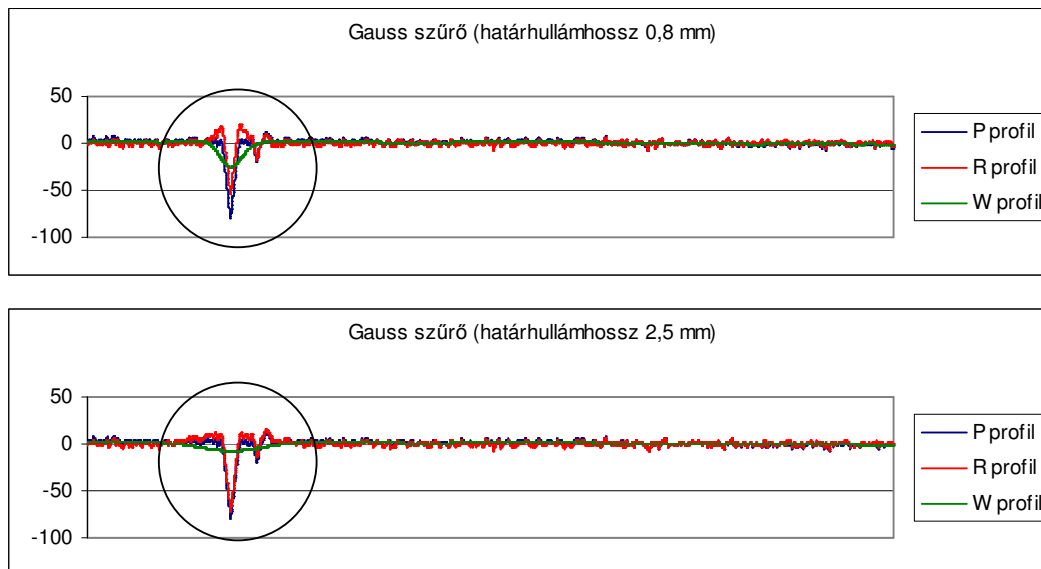


k_u – érdesség átviteli együttható
 l_u – hullámossági átviteli együttható

44.ábra: A hagyományos Gauss szűrő átviteli jellemzője

6.1.2.4. A W profil előállítás

A W profil előállítás az elsődleges P profilból, hagyományosan Gauss szűrővel történik, a hosszú és rövidhullámhosszú komponensek szétválasztása folytán. (Gurau, 2002).



45.ábra

A kísérleti mérések kivitelezésénél hagyományos Gauss szűrővel csak demonstrációs céllal hajtottam végre néhány mérést, a hullám és az R profil előállítására mindenkor az ún. robusztus Gauss regressziós szűrővel történt, annak érdekében, hogy kiküszöböljem a hagyományos Gauss szűrő kedvezőtlen kísérő jelenségeit.

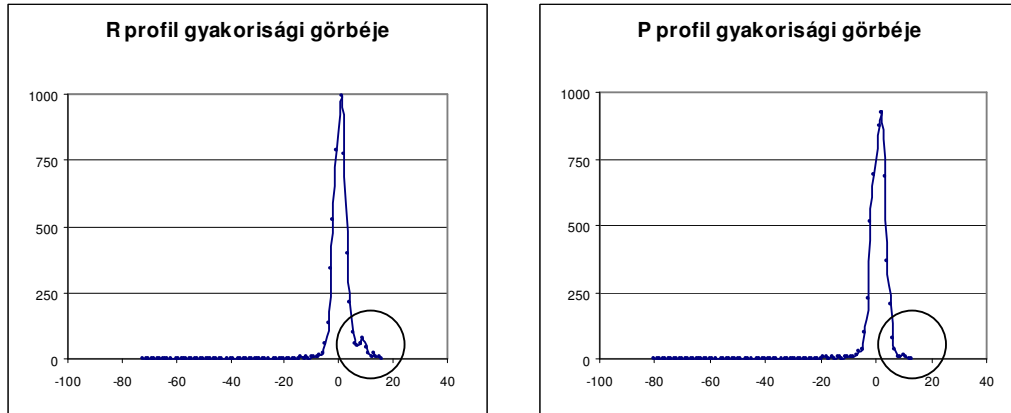
6.1.2.5. A Gauss szűrő kedvezőtlen kísérő jelenségei

- Nagyedényes fajok mérésekor az edények környezetében, nagy amplitúdójú hullámossági profilt kapunk, a Gauss szűrő működésének következtében. A valóságoshoz képest, az érdességi profil jelentősen feltüremkedik, mesterséges vállak jelennek meg az edények szájának környezetében. A jelenség mindkét hullámhossz alkalmazásakor fennáll, rövidebb hullámhosszt választva azonban a torzulás jelentősebb. A kedvezőtlen változás mértéke alapvetően az edények mélységétől és átmérőjétől függ, de befolyásolja az edények száma ill. a mérési hosszban belüli elrendeződése és csoportosulása is.

- A nagyedényes fajokat Gauss szűrővel szűrve, az érdességi R profilon a közép- vonalhoz képest pozitív tartományban feltüremkedések jelennek meg. Az R profil a valódi profilnak egy olyan torzulása, amely anyagot jelenít meg ott, ahol a valóságban az nem is létezik. Miután felvetődik a probléma, hogy a különböző mérőműszerek a szabványos paramétereket az érdességi profil alapján szolgáltatják, megfontolandó, hogy alkalmas-e a Gauss szűrővel szűrt R profil nagyedényes fajok érdességének kvantitatív kiértékelésére. Mivel az R profil torzulása a szűrés miatt következik be, vizsgálandó a szűrés szükségessége, illetve a Gauss szűrő kiváltásának lehetősége.

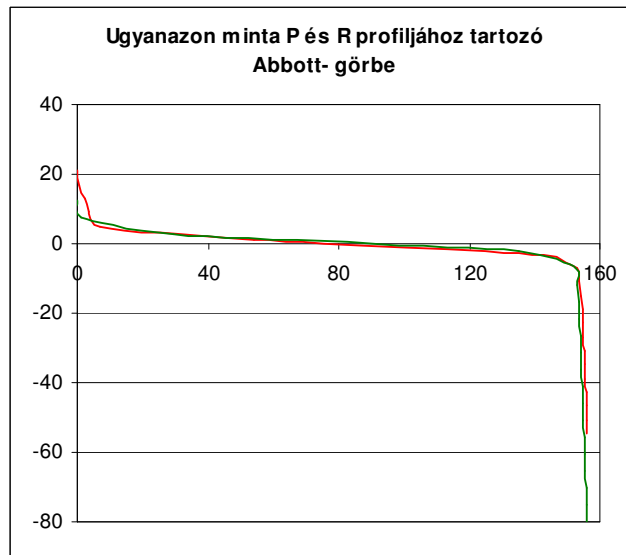
- A feltürt edényszélek a pozitív tartományban jelennek meg. A megmunkálási hiba is a pozitív tartományban jelenik meg. Ezért nagyedényes fajoknál az edények jelenléte a Gauss szűrővel előállított R profilon közvetlenül a megmunkálási érdesség értékét rontja.

- Az R profil gyakorisági görbéjén is megjelennek a feltürt edényszélek. Összehasonlítva az R profil gyakorisági görbéjét a P profil gyakorisági görbéjével, szembevetve, hogy a pozitív tartományban az R profilon dudor keletkezik, a feltürt edényszélek miatt, aminek a P profilon nyoma sincs (46. ábra).



46.ábra

▪ Tekintve, hogy a gyakorisági görbe az Abbott görbe első rendű deriváltja, így az Abbott görbén is jelentkezik a virtuálisan feltűrt edényszélek hatása, növelik R_{pk} értékét. A feltolt edényszélek az Abbott görbe pozitív tartományában jelennek meg de a feltoló adatok miatt a negatív tartományban R_{vk} értékét is megváltoztatják. A 47. ábrán Gauss szűrővel szűrt R profil és szűretlen P profil Abbott görbéi láthatók, ugyanannak a mért profilnak az összehasonlítására. Az R profil jelen esetben 2,5 mm határhullámhosszú szűrővel szűrt, amely a szabványosan javasolt, általánosan használt λ_c érték, amely az R_{pk} értékében közel 8 μm változást okoz, kedvezőtlen felületi minőséget szimulálva.



47.ábra

6.1.2.6. Az alapszövet robusztus Gauss regressziós hullámösszetevője

Az alapszövet hullámösszetevőjének leírása egyenértékű azzal a feladattal, hogy olyan hullámot kell előállítani, amely a nagy edények környezetében nem húzódik bele a profilba, hanem ezeken a helyeken is megtartja az alapszövet jellegzetességét. A hullámösszetevő leírására az ISO/CTS 16610-31, 2002 -ben kiadott szabványtervezet vezérfo-

nalát használtam fel, melyet eljuttattak több, a témában érintett kutatónak is és jelenleg a véleményezés szakaszában van. A szabványtervezet egy Brinkmann által javasolt eljárást tartalmaz, amely robusztus becsléssel, ún. robusztus Gauss regressziós szűréssel állítja elő a hullámot. A szűrő azért viseli a robusztus megnevezést, mert bizonyos megfontolások alapján úgy állítja elő a hullámot, hogy az nem érzékeny ún. „kilógó” adatokra. Nagyedényes faanyagoknál a mély edények nem járulnak hozzá a megmunkálás minőségének jellemzéséhez és mint ilyenek tekinthetők „kilógó” adatoknak.

A robusztus Gauss regressziós szűrő a következő általános regressziós elrendezéssel fogalmazható meg (Gurau, 2002):

$$\sum_{l=1}^n (z_l - w_k)^2 \cdot \delta_l^m \cdot s_{kl} \cdot \Delta x \rightarrow \min$$

Ahol a súlyfüggvény:

$$s_{kl} = \frac{\sqrt{\pi} \cdot \Delta x}{\sqrt{\ln 2} \cdot \lambda} \cdot \exp\left(-\frac{\pi^2}{\ln 2} \cdot \frac{(k-l)^2 \cdot \Delta x^2}{\lambda^2}\right)$$

ahol:

z_l – a szűretlen profil érdességi értéke

w_k – a hullám értéke a k indexnél

k – súlyfüggvény pozíciójának az indexe a profilon belül

l – a profilpontok indexe

s_{kl} – a súlyozó függvény

δ_l^m – hozzárendelt vertikális súly

m – az iterációs lépés indexe

Δx – az adatvételi köz

Az első lépésben, amikor $m=0$, akkor a hullámosságot a hagyományos Gauss szűrővel állítja elő és $\delta^0 = 1$ vertikális súllyal szorozódik minden adat. Az ezt követő iterációk során, a δ értékét a következő feltétel adja:

$$\delta_l^{(m)} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{z_l - w_l^{(m)}}{c_B^{(m)}} \right)^2 \right]^2 & \text{ha: } |z_l - w_l^{(m)}| \leq c_B \\ 0 & \text{minden más esetben} \end{cases}$$

A robusztus algoritmus egy regressziós szűrést végez, majd iterál egy adatsoron mindaddig, míg a hullám megfelelő nem lesz. A robusztus szűrő egy függőleges kiterjesztésű súlyfüggvényt ($\delta_l^{(m)}$) is figyelembe vesz, minden egyes adatpontnál.

δ : nulla és egy közötti értékeket vesz fel, $c_B^{(m)}$: küszöbszám.

$$c_B^{(m)} = 4.4478 \cdot \text{median} |z_l - w_l^{(m)}|$$

Azon profilpontok értékét, amelyek közel fekszenek egy előző (iterációs) lépésben előállított hullámprofilhoz, δ egyhez közeli értékével szorozzuk, vagyis majdnem teljes értéküket megőrizzük. Ezzel szemben azok a profilpontok, amelyek c_B -nél nagyobb távolságra vannak a középvonaltól, nullával szorzandók. Az iterációs lépések száma a szabványtervezet szerint nem több hatnál, tapasztalataim szerint elégséges a három.

A robusztus regressziós hullámprofil paramétere:

$$w_k^{(m+1)} = \frac{\sum_{l=1}^n s_{kl} \cdot z_l \cdot \delta_l^{(m)}}{\sum_{l=1}^n s_{kl} \cdot \delta_l^{(m)}}$$

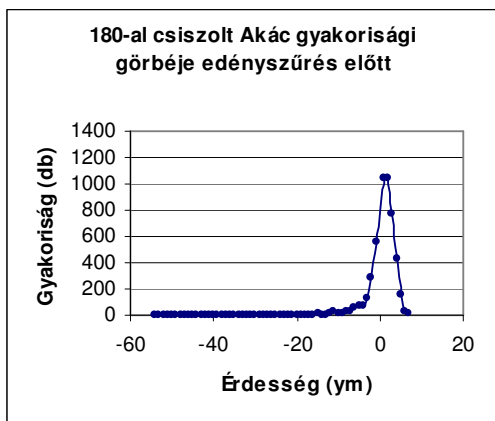
6.2. Az edények kiszűrésére kidolgozott módszer

6.2.1. Érvek az edények kiszűrése mellett

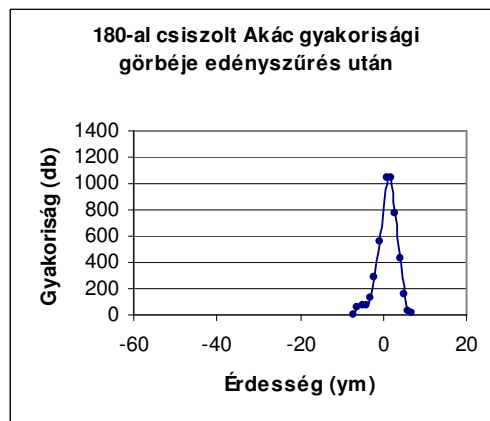
- nagyon jó megmunkálás mellett is - a profilhosszon előforduló edények mélységének és számának függvényében - kedvezőtlen érdességi paraméterek adódhatnak, ellehetetlenítve a felület minőségének objektív megítélését. Az edények átmérője és mélysége több nagyságrenddel eltér a vezetősövet jellemzőitől, ami a minősítés során csak ronthat az érdességi értékeken.
- a tű, geometriájából adódóan, a 45°-nál meredekebb edényfalakat nem tudja valóságosan lemérni, így a profildiagramon megjelenített edény alakja nagymértékben eltér a valóságtól.
- véletlenszerű, hogy egy edény milyen szögben van átvágva, és hol helyezkedik el a felszínhez viszonyítva, ezért figyelembe vétele a mérések kiértékelésénél hasznos információt nem szolgáltat.
- véletlenszerű, hogy egy adott mérési hosszban hány darab, milyen átmérőjű és milyen mélységű edény fordul elő, ezért az így kapott érdességi adatok a megmunkálás paramétereivel nem korrelálnak.
- edényszűrés után a megmunkálás gyengébb minősége az Abbott görbe pozitív tartományában R_{pk} -val jól azonosítható. Korábban ezek az értékek keveredtek, esetenként felülfedődtek a feltűrt edényszélek érdességével.
- az edények jelenléte megváltoztatják a regressziós egyenest is.

6.2.2. Az edények kiszűrésének elvi megfontolásai

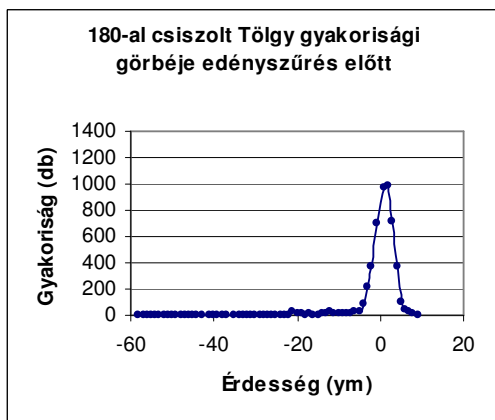
A szűrés elve az, hogy az edények a profil középvonalaéhoz képest negatív tartományban jelennek meg, így **a gyakorisági görbén is, a negatív értékek tartományában, jellegzetes hosszán elnyúló láb formájában azonosíthatók**. A gyakorisági görbéből kiolvasható, hogy az alapszövet alkotta 'hordfelületfelület', a legszámosabb érdességi adat környékén van. Az edények kiszűrésére kifejlesztett CurveCut program lehetőséget kínál arra, hogy a gyakorisági görbén megjelöljük, majd tetszőleges értékkel helyettesítsük a kiszűrni kívánt tartomány adatainak mindegyikét. Az edényekhez tartozó adatokat nullával helyettesítjük, így az eredeti érdességi adatállományba nem kerülnek fiktív adatok. A 48. ábrán 180-as csiszolópapírral csiszolt, akác minta gyakorisági görbéje látható. Az edényeknek tulajdonított tartomány szűrése folytán a 49. ábrán látható gyakorisági görbe áll elő. A 48-55. ábrákon megfigyelhető, hogy a pozitív érdességi értékek tartományát, amely a felületi érdességét is tükrözi, a szűrés nem befolyásolja. A szűrés utólagos ellenőrzésére az érdességi profildiagram megrajzolása teremt lehetőséget. A felület 3D-s topográfiájának felvétele további segítséget nyújt az edények azonosítására, a felületi érdesség és a felületi sérülések elkülönítésére.



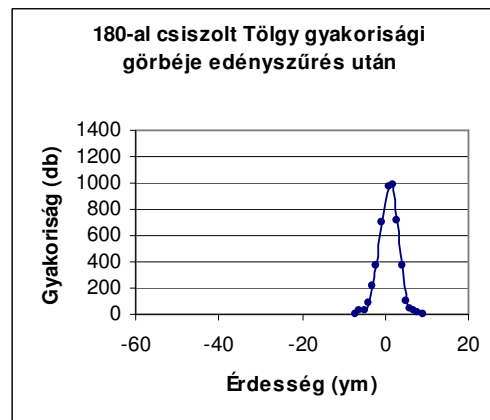
48. ábra



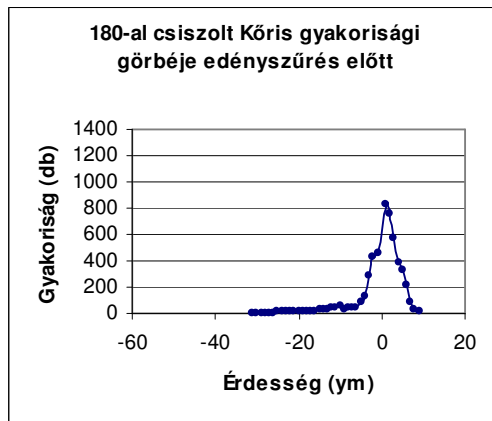
49. ábra



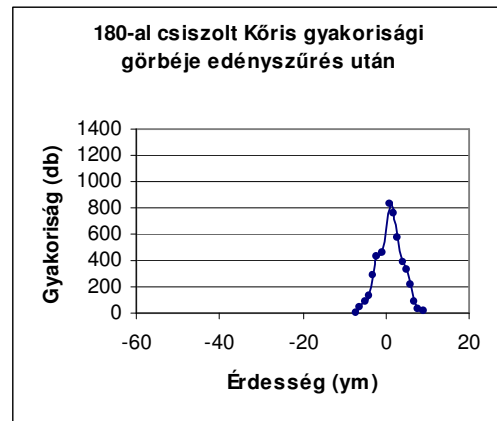
50. ábra



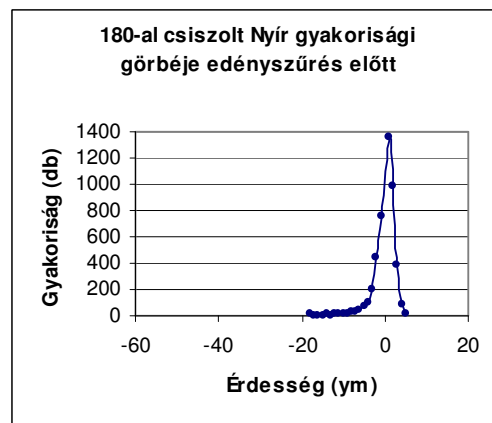
51. ábra



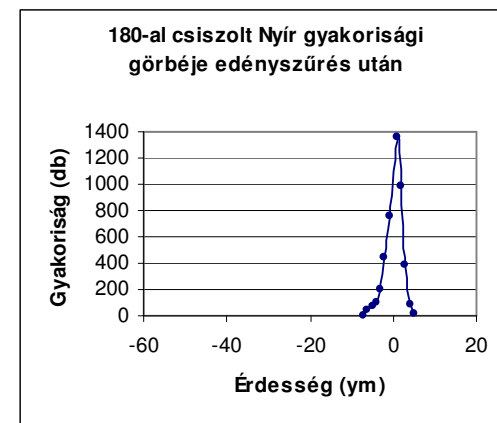
52.ábra



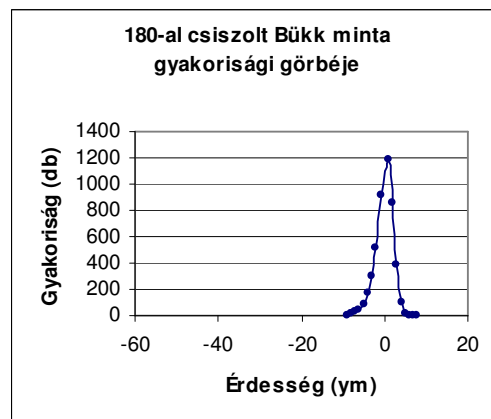
53.ábra



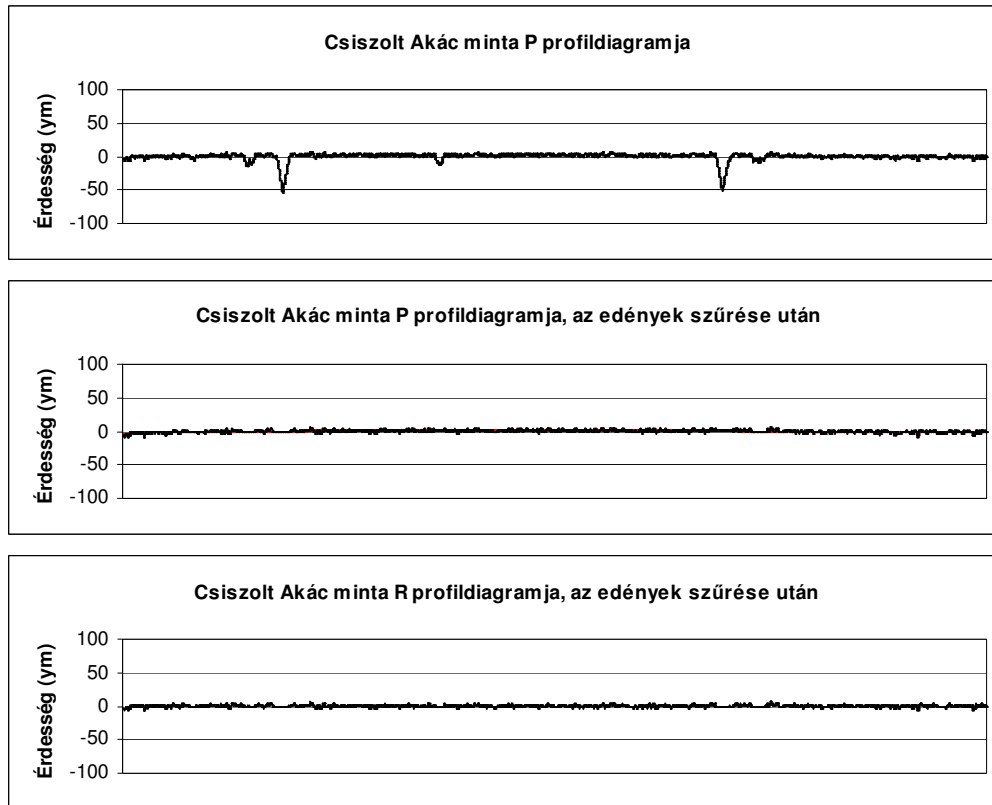
54.ábra



55.ábra



56.ábra



57.ábra

6.2.3. A szűrés lépései

- első lépésben behívjuk az elsődleges P profilt;
- következő lépésben kijelöljük az adatokat a gyakorisági görbén;
- a harmadik lépésben a kijelölésnek megfelelően eltávolítjuk azokat.

6.2.4. A harmadik lépésben megvalósuló szűrés értékelése

Előnyei:

- mivel az edények negatív tartományban jelennek meg, a gyakorisági görbe megfelelő eszköz az azonosításukra.
- A szűrés folytán R_z értéke jelentős mértékben (az 57.ábrán $21,08\mu\text{m}$ -ről $7,98\mu\text{m}$ -ra) csökken, a profil így nagy átvágott edényektől mentes, a kialakult érdesség a vezetősövet érdességét tükrözi, míg korábban ez felülfedődött a feltúrt edényszélek érdességi értékeivel.

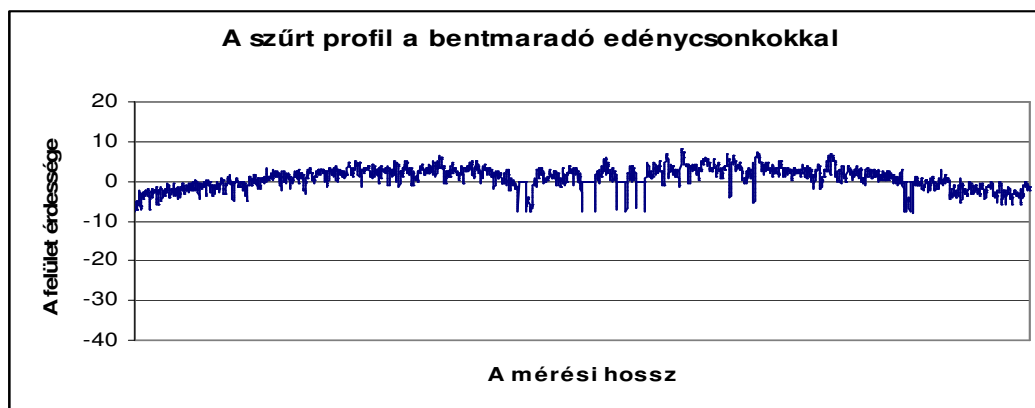
Hátrányai:

- a gyakorisági görbén az adatok megjelölése szubjektív, tehát nagy tapasztalatot igényel.
- az adatok eltávolítása a gyakorisági görbe felhasználása ellenére is vízszintes elmetszéssel történik,
- a vízszintes elmetszés miatt két kedvezőtlen eset fordulhat elő:
 - túlszűrjük, azaz belevágunk a vezetősövet összetevőibe, vagy
 - alulszűrjük, aminek következtében csak az edények alja kerül eltávolításra, és úgynevezett edénycsonkok maradnak a profilban.

6.2.5. A szűrés optimalizálása

A fenti észrevételek miatt további lehetőségeket szükséges keresni, a fennálló kedvezőtlen jelenségek kiküszöbölésére:

- egyrészt, határérték felállítása szükséges, hogy ne szűrjük túl a profilt de ugyanakkor minden kiszűrni kívánt edényt nagy biztonsággal meg tudjunk jelölni.
- másrészt, a bentmaradó edénycsonkokat el kell távolítani, mert jelenlétük ronthatja az érdességi paramétereket.
- továbbá megfontolandó, hogy a P profil, a hagyományos Gauss szűrővel szűrt profilhoz képest (az esetek többségében) vélhetően bizonyos mértékű hullámossággal eltér. Míg az R profilnak a középvonala egy egyenes, addig a P profil középvonalát maga a hullámosság adja. Ezért az edények szűrése során felül kell vizsgálni, hogy megfelelő-e a szűrt szakaszok nullával való helyettesítése az ott előálló adatok egyszerű elhagyásával szemben.
- a P_z érték kiszámítása során a profilt öt egyenlő szakaszra osztjuk, az egyes szakaszok tető és fenékvonala közötti legnagyobb értékeket összeadjuk és elosztjuk a szakaszok számával, így a kivágott adatok nullára helyettesítése nem okoz zavart a statisztikai kiértékelésben, lévén, hogy az adatok számossága nem szerepel a képletben.
- a P_a nem más, mint az adatok számtani átlaga, így ebben az esetben a nullára történő helyettesítése kedvezőtlen. Hozzá kell azonban tenni, hogy a P_a kevésbé jól alkalmazható érdességi paraméter (az R_a is igen ritkán alkalmazott).
- a P_{pk} , P_k és P_{vk} esetében a nullára való helyettesítés kedvezőtlené válhat, ha a



57.ábra

horizontális metszövonal éppen egybe esik a középvonallal, mert az ott feltüntetett és egymás után sorjázó nulla értékek az Abbott görbén egy kiugró adatpontot eredményezhetnek, megváltoztatva ezzel a görbe lefutását.

A továbbiakban (ezen elvi megfontolásokat szem előtt tartva) az edények szűrése során is felül kell vizsgálni, hogy megfelelő-e a szűrt szakaszok nullával való helyettesítése. Mivel a P profil - a hagyományos Gauss szűrővel szűrt profilhoz képest - az esetek többségében egy bizonyos hullámossággal eltér. A nullára helyettesítéssel a P profilban az edények szűrése után az ún. edénycsonkok azáltal válnak azonosíthatóvá, hogy a nulla helyek környezetében helyezkednek el. A nullára való helyettesítés tehát a szűrt edények azonosítása szempontjából kedvező. Belátható azonban, hogy amennyiben az edényszűréssel egyszer egy csomk bent maradt, azt jelenti, hogy az alapszövet a nullánál magasabb tartományban helyezkedik el, ami tehát az edénycsonkok kiszűrése során már nem támaszkodhatunk a nullára. Ezért szükségünk lenne az alapszövet mindenkor helyi

értékeinek ismeretére ahhoz, hogy megadhassuk az edény csonkok eltávolításának határát (57.ábra).

Belátható továbbá, hogy az edények helyén a végleges nullára helyettesítés - az adatpontok számának megtartása mellett - olyan felületet eredményezne, amelyben az edények helyén igen „sima részek” vannak. A helyettesítés így nagyban rontaná R_a értékét, hiszen azt jelentené, hogy lényegesen kevesebb érdességi értéket osztunk a kiinduló adatok számával.

A csonkok visszaszedése olyan egyenlőtlenségi reláción alapul, amely határértékként az alapszövet helyi hullámértékét adja meg. Az alapszövet hullámösszetevőjét robusztus Gauss regresszióval származtatjuk.

6.2.6. Az adatok helyettesítése

Vizsgáljuk meg, hogy mi történik akkor, ha az edény két széle közötti adatokat (az adatok számát megtartva) a hullám helyi értékével helyettesítjük. Ezzel a megoldással tulajdonképpen nem az edény kiszűrése, hanem annak „feltöltése” történne, ami nem lehet célunk, mert úgy változtatná meg az Abbott görbe lefutását, hogy anyagot tüntetne fel ott, ahol az valójában nincsen.

Kijelenthető tehát, hogy az edények szűrése során nem célszerű az adatok eredeti számának megtartása!

Ennek értelmében - tekintve, hogy a megmunkálás minőségét az alapszöveten tudjuk értelmezni - a szűrés során az edények adatait úgy távolítjuk el a profilból, hogy az alapszövetet jellemző hullámértékig szedjük vissza őket, majd az edény és a hullám találkozásának két pontját összecúsztatjuk. Az adatok száma így az edények adatainak számával arányosan csökken.

A vezetőszövet helyi értékére történő helyettesítéssel, a kiértékelést zavaró nagy edények adatai addig a pontig kerülnek kivágásra, ami a vezetőszövet közel középpértékét jellemzi, ezért az edényszélek környezetében lejátszódó jelenségek, azok valós feltűremkedése illetve kiszakadása már részt vesz a megmunkálási minőség jellemzésében.

6.2.7. Az edényszűréssel nyert R és P profilok

A P profil középvonalként a regressziós egyenest tartalmazza. Az első lépésben előálló regressziós egyenes dőlését és pozícióját az érdességi profilban, a mély edények száma és elhelyezkedése határozza meg. Mivel az érdességi értékek nullához viszonyítottak, az edényszűréssel előállított profilnak is meg kell keresni a regressziós egyenesét, majd a profilpontok Y koordinátáit újra kell számolni, hogy a meredekségét nullával tegyük egyenlővé! Ez a lépés azzal indokolható, hogy csak az új regressziós egyenes felvételével számolt érdességi értékek egyenértékűek egy nagyedényektől mentes, az alapszövetet jellemző profil érdességi értékeivel.

A mérési („ P_z ”) eredményeket az újraszámolt regressziós egyenes felvétele és a profiladatok újraértelmezése után értékeltem ki. A továbbiakban az edénymentes P profilból, robusztus Gauss hullámra történő szűrés után, R profilt állítottam elő.

6.2.7.1. A robusztus Gauss szűrővel előállított R profil

Miután az edények kiszűréséhez előállítottuk az alapszövetre jellemző hullámösszetevőt, a továbbiakban a program kettéválasztja a P profilt és előállítja azt az R profilt, amely immár feltűrt edényszélektől mentes.

Összegzőképpen, az edények szűrésére kidolgozott módszer és létrehozott program, gyors, objektív és segítségével a nagyedényes fajok esetében is jól jellemezhető az alapszövet makrotopológiai állapota.

6.2.7.2. A P profil bevonása a vizsgálatokba

Az érdesség általános elemzésére nagyszámú szabványos paraméter áll rendelkezésre, de a f felületek egy részét érdességméréssel lehetetlen minősíteni. Jelen munkában mindvégig azt tartottam szem előtt, hogy a kapott eredmények, a felületek - érdességén keresztül történő - minősítéshez közelebb vigyen. Figyelembe véve, hogy a finoman megmunkált felületek érdességének minősítése a gyakorlatban kézzel történik, indokoltnak tartottam a P profil bevonását a vizsgálatokba, mivel ez az a profil, amely legközelebb áll a kézzel tapintható valódi profilhoz. A P és R profil közötti alapvető különbség a hullámösszetevőben van.

A hullámösszetevővel kapcsolatban fontosnak tartom kiemelni, hogy a szakirodalom feldolgozása arra a sajnálatos tényre mutatott rá, hogy a felületek érdessége alatt a szerzők többsége az R paramétereket érti és a mért profil hullámösszetevőjére vonatkozóan semmilyen információt nem tart fontosnak megadni. Ez az álláspont csak akkor lenne elfogadható, ha a mért profilok semmilyen hullámösszetevővel nem rendelkeznének. Belátható, hogy a minősítésnél csak az R_z paramétert véve figyelembe, jelentős információvesztés adódhat.

A hullámosság leválasztásának értelme és létjogosultsága faanyagoknál elsősorban rosttal párhuzamos irányban van akkor, ha a marásból származó hullámokat akarjuk vizsgálni. A szakirodalomban burkoltan ugyan de megtaláljuk annak a nyomát, hogy több szerző együttgondolkodik, azonban mindaddig, míg a szabványos méréseket folytatják, nincsen mód hullámosság szűrésétől mentes profil kiértékelésére. Jó példát találunk a fentiek alátámasztására Krondorfennél (1996), aki mérte **a kinematikai érdesség rosttal párhuzamosan**, de speciálisan átalakított, tapintócsúcsos érdességmérővel. Tekintettel arra, hogy korábban a hullámosság jellemzésére csupán egyetlen paramétert alakítottak ki, a W_t -t, amely egy hullám felső határoló és fenékvonala közti távolság, a szerző egy sor paraméter kialakítását látta szükségesnek (29. ábra). A megmunkálási hullámot nagy lekerekítési sugarú, ún. mechanikus mérőfejjel célszerű mérni. Schadoffsky így fogalmaz: A forgó alkatrészek és a szerszám tömeg kiegyenlítetlenségéből, a beállítás pontatlanságából lengések, rezgések alakulnak ki, ami a felületen a késnyomok periodikus változásához vezet. **„Ezt a hullámosságot nevezük kinematikai érdességnek.”** (Schadoffsky, 1996). Fuchs, Devantier és Emmeler (1997) kijelentik, hogy ideálisan sima felület nincs, minden megmunkált f felületnek jellegzetes érdessége van, a fafajtól és a megmunkálás körülményeitől függően. **„A faanyagok érdességén a rostok érdessége értendő, míg a gyalulási nyomok hullámosságként azonosíthatók”**.

A fenti elvi megfontolások alátámasztására Trumppold és Heldt álláspontját idézem, mely „Why filtering surface profiles” előadásukban hangzott el, a fémiparban szinte évről évre megrendezett „The metrology and properties of engineering surfaces” konferenciák XI-én, 1998-ban: **„Nincs értelme, az érdesség és hullámosság szétválasztásának, valamint csupán az érdesség kiértékelésére hagyatkozni, szűrt profiloknál. A**

jövőben, a mikrogeometriai eltérések kiértékelésénél, az elsődleges profilt KELL alapul vennünk! A felület funkcionális viselkedését a mikrogeometriai eltérések együttese adja, az érdesség, hullámosság és formai eltérések összességének jelenlétével”. Mivel az esetleges hullám (ha még oly kicsi is) és a ráülő mikroérdesség együttesen adják majd azt a felületet, amit felületkezelní kell (pl. az autóiparban) vélhetően a minősítés gyorsítása és egyszerűsítése érdekében született a fenti javaslat.

Faanyagoknál, a fémekkel szemben, az R profil nem tükrözi a valóságos profilt. Fémek esetében a hullámosság és érdesség kettéválasztását az a gondolat vezérelte, hogy az amúgy homogén szerkezetű fém érdessége és egy megmunkálásból származó hullám különválasztható legyen. Faanyagoknál az esetleges hullám leválasztásával (rostra mérőlegesen) a faanyag szerkezetével összefüggő érdesség mesterséges lecsökkentése, adat és információvesztés történik. Egy, a valóságban alaki eltéréseket tartalmazó profil, kiegyenesedik, anyagrészeket tüntetve el onnan, ahol a valóságban vannak, vagy tüntetve fel ott, ahol a valóságban nincsenek. Nem lehet célunk tehát csupán az R paraméter megadása a minősítéshez, amikor az a valódi profilhoz képest számos ponton téves információt tartalmaz. Az R paraméter mellett a hullámösszetevő figyelembe vétele is szükséges. Vizsgálni kell tehát, hogy a P profil paraméterei alkalmasak lehetnek-e minősítő jellemzőnek, a kézzel tapintott felület érdességének leírására! Az összehasonlítás alapját azonos profilok R_z és „ P_z ” paraméterei adják. A mérőműszer (szabványosan) öt egyedi mérési szakaszon számolja R_z értékét, ezért a „ P_z ” paraméterrel való összehasonlíthatóság érdekében, a „ P_z ” értékeinek számolása a lehetséges héttel szemben, mindvégig öt szakaszon történt.

6.2.8. Paraméterek hozzárendelése a P és W profilhoz

A P és W profil jellemzésére a szabványokban, illetve a szakirodalomban nem találunk paramétereket. A hullámprofilhoz az ISO 11562 hozzárendeli a W_t jellemzőt, az R profilhoz pedig az ismert paramétereket.

A szakirodalmat áttekintve találunk példát arra, hogy a rosttal párhuzamosan mért kinematikai érdesség jellemzésére. Krondorfer (1996) például, új, nem szabványos paramétereket vezetett be δ és δ_z formájában, a hagyományos R paraméterek mintájára a kinematikai érdesség mérésére.

$$\delta_z = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 \delta_{\max i}, \quad \delta = \frac{2 \cdot |s_{i+1} - s_i|}{s_{i+1} + s_i}$$

A P és W profilt a DIN 4771 szerint egyetlen paramétere jellemzi: a P_t illetve a W_t .

A P profil kiértékelésére a következő paramétereket választottam:

P_{pk} , P_k és P_{vk} , amelyek a P profil adataiból felvett Abbott görbe jellemzői az R_{pk} , az R_k és az R_{vk} mintájára.

P_z , amely nem más, mint öt egymást követő alaphosszon a borítékoló vonalak abszolút értékének számtani átlaga (R_z mintájára).

$$P_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

A W profil kiértékelésére a következő paramétert választottam:

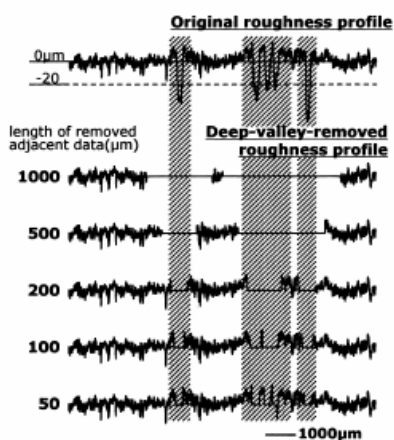
W_z , amely nem más mint öt egymást követő alaphosszon a hullámprofil borítókoló vonalak abszolút értékének számtani átlaga

$$W_z = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5}{5}$$

6.3. Az edények szűrésére kidolgozott eljárás összevetése a már létező változatokkal

6.3.1. A Fujiwara által publikált eljárás

2003 februárjában Y.Fujiwara, Y. Fujii és S.Okumura a Forest Products Journalban megjelentetett cikkükben egy , a japán tölgy (*Quercus mongolica*) nagyedényeinek kiszűrésére kifejlesztett eljárást mutatnak be. Az edényszűrés alapjául használt profil a



58.ábra

társa kerüljenek. A vízszintes metszővonal határértékét $-20 \mu\text{m}$ -ben állapították meg. Az edények, valamint azok környezetének eltávolítására vízszintesen is határérték adnak meg, úgy, hogy abba a feltűrt edényszélek is beletartozzanak. Ennek következtében a vízszintesen előálló határérték $500 \mu\text{m}$. A vizsgált paraméter R_a . A kiválasztott adatokat nullával helyettesítik.

6.3.1.1. Az eljárás elemzése

- R_a túlságosan nagymértékben átlagol, így nem a legmegfelelőbb paraméter a felületek jellemzésére, de amiatt, hogy az eltávolított edényrészleteket nullával helyettesítik, még külön is kedvezőtlen. R_a értékében a nullára helyettesítés a statisztikai érték nagymértékű torzulását eredményezi, hiszen lényegesen kevesebb érdességi érték osztását végzik a kiinduló adatok számával.

- az R profil választása nem szerencsés, mert faanyagoknál információvesztést és torzulást eredményez a valós profilhoz képest.

- a vízszintes határértékként megállapított $500 \mu\text{m}$ túl sok adat eltávolítását eredményezi, tíz belemért edény esetén pl. elveszítjük a profil közel felét.

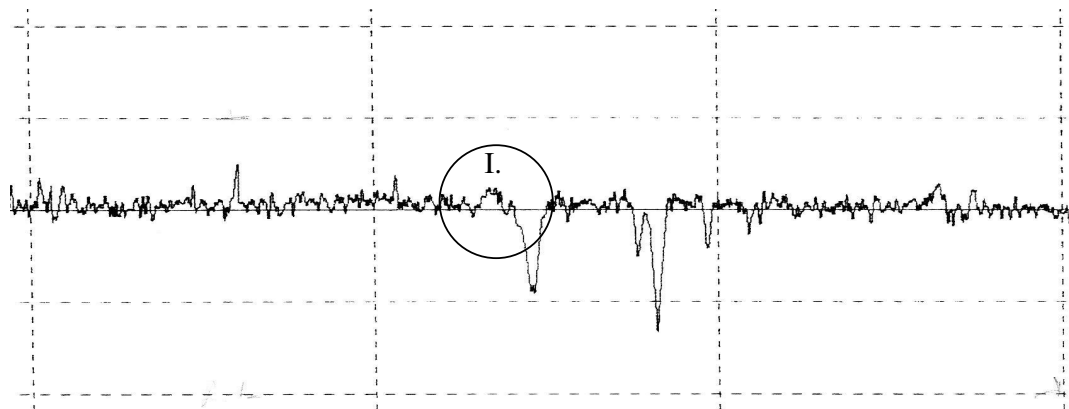
- Az 500 μm -be nagy valószínűséggel beletartoznak olyan adatok is, amelyek értékes információt hordoznak a megmunkálás minőségére vonatkozóan, és főlegesen kerülnek kivágásra.
- Az edények széleinél a valóságban lejátszódó jelenségek, mint edényszélek deformálódása, kiszakadása, feltüremkedése kényszerűen szintén eltávolításra kerülnek, és így lényeges információk esnek ki a felületi minőséget jellemző adatok köréből.

6.3.2. A Mahr számítógépes programja edények szűrésére

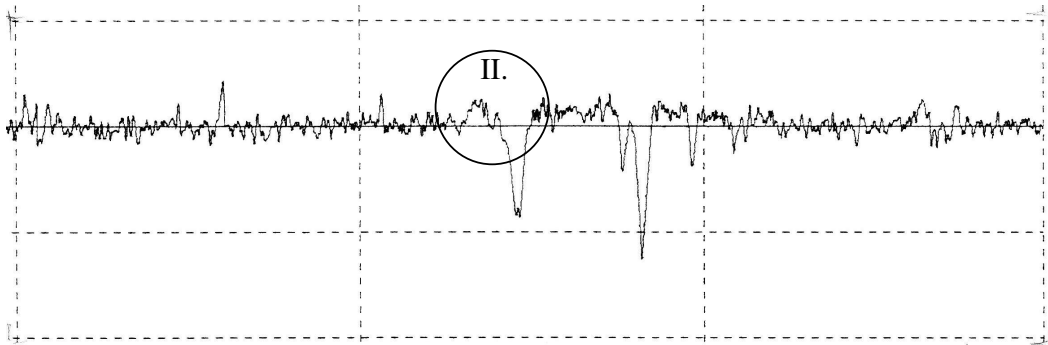
2001-ben a Mahr cég kibocsátott egy számítógépes programot, amely, annak ellenére, hogy nem faipari felhasználásra készült, lehetőséget biztosít az edények eltávolítására. Az eljárás elvi megfontolásainak tükrözésére azt a megkülönböztető megnevezést használom, az edényszűréssel szemben, hogy edénykivágás. Az eljárás lényege ugyanis valóban ebben áll, a megjelenített, vizualizált profilba, egy kurzorral belépve tetszés szerinti adatokat jelölhetünk meg az R profilon, amelyeket a program ezek után kivág (5. számú melléklet).

Az eljárás elemzése:

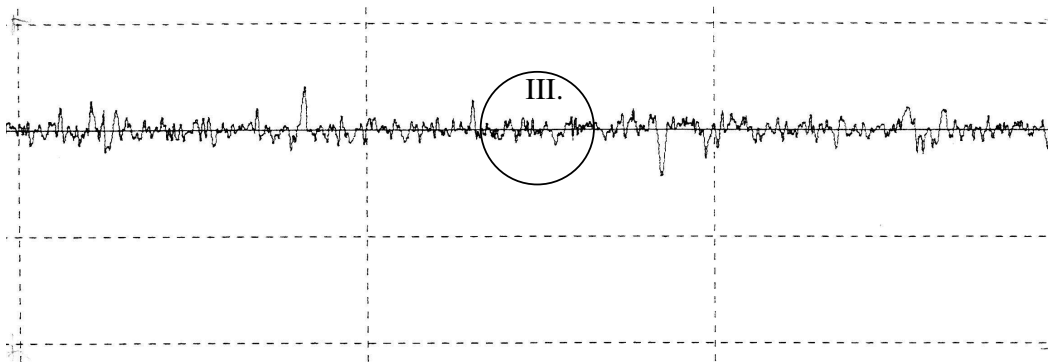
- időigényes, pontatlan és szubjektív.
- az edények kivágására használt profil (a Gauss szűrővel szűrt R profil) jól kivehető feltürt edényszélekkel jelenik meg.
- Abban az esetben, ha a középvonalig távolítják el az edényeket, a feltürt edényszélek még bent maradnak a profilban.
- Annak érdekében, hogy az újonnan előállt, edénymentes profil középvonalát megtalálják, a profilon újabb hullámszűrést hajtanak végre. A feltürt edényszélek azonban ez esetben pozitív amplitúdójú hullámot okoznak, amelyet a második szűrés megszüntet (61.ábra).
- Mielőtt a feltürt edényszélek problémájának megszűnését pozitívan üdvözlőnk, vizsgáljuk meg a P profilt az edények környezetében: az edény szélénél valószínűleg feltürt edényszélek vannak, melyek nem a szűrésből, hanem a helyi viszonyokból és a megmunkálásból adódnak (59.ábra, I.-el jelölve). A szűrésből származó vállak egyértelműen erre szuperponálódnak (60.ábra, II.-vel jelölve).
- Kijelenthetjük, hogy a második hullámosság szűréssel megszüntetésre kerülnek olyan valós jelenségek, mint az edényszélek kiszakadása, deformálódása, amelyek nagyban hozzájárulnának a felületi minőség jellemzéséhez (61.ábra, III.-al jelölve).



59.ábra: P profil diagramja



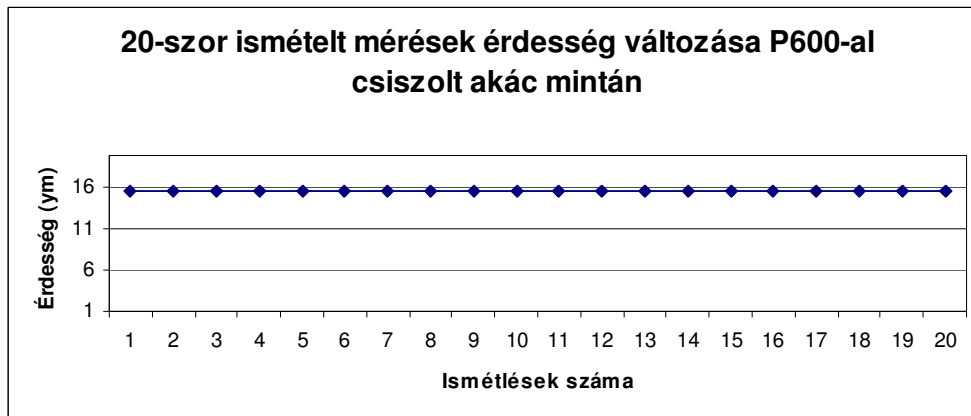
60. ábra: R profil diagramja



61. ábra: Edénykivágással nyert R profil

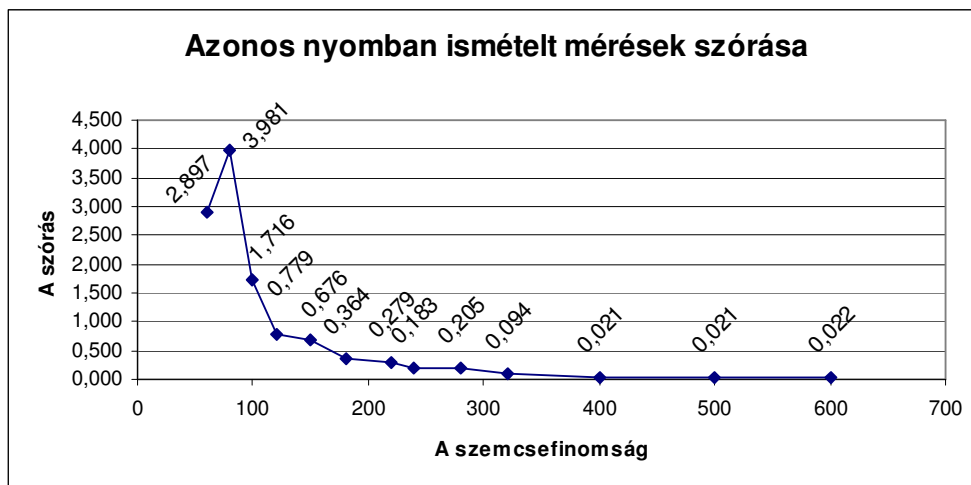
6.4. Az azonos nyomban végzett mérések értékelése

A kísérletek lefolytatása előtt, akác mintán elvégzett ismételt mérések arra világítottak rá, hogy a tű felületbontó hatása összefüggésben van a csiszolószemcse finomságával. Minél finomabb szemcsével csiszolt egy felület, annál kevésbé változik az érdesség az ismételt tűhúzások hatására, mivel a tű annál kevésbé tudja megbontani a rostok egységét. A 600-as csiszolópapírral csiszolt mintán a 20-szor ismételt mérések hatására is még alig néhány század mikrométer érdesség változás áll elő a felületen.



62. ábra

Annak vizsgálatára, hogy milyen szemcsefinomság mellett kezd a tú jelentős roncsoló hatást kifejteni a felületen, felvettem az egyes szemcsefinomsághoz tartozó ismételt mérések szórását. P600-as, 500-as és 400-as csiszolóvásznak esetében az ismételt mérések érdességi értékeinek („P_z”) szórása alacsony, ami azt jelenti, hogy az ismétlődő mérések hatására sem történik jelentős változás az érdességi értékekben. Tehát, a tú se nem simítja, se nem roncsolja a felületet.



63.ábra

Az érdességi adatok szórása egészen a 100-as szemcsefinomságú vászonig alacsony, 0,2 és 0,7 közötti értéken marad. Ezzel szemben a 100-as vászon 1,7-es szórása nagy kiugrást jelent, jelezve, hogy az ily módon megmunkált felület érdességi értékei viszonylag nagymértékben szóródnak (a 120-as vászonhoz képest a szórás növekedése több mint kétszeres). A tú ugyanis könnyebben megbontja a felületet, ezért a kezdeti érdesedés nagymértékű, amit csak a 10. mérés táján követ a felület kisimulása, összhangban az érdességi értékek stabilizálódásával. A gyakorlatban használt vásznak (P120, P150, P180) az ismételt mérések során kedvezően alacsony szórást mutatnak (esetenként egy-két mikrométer) az első mérési eredményhez képest.

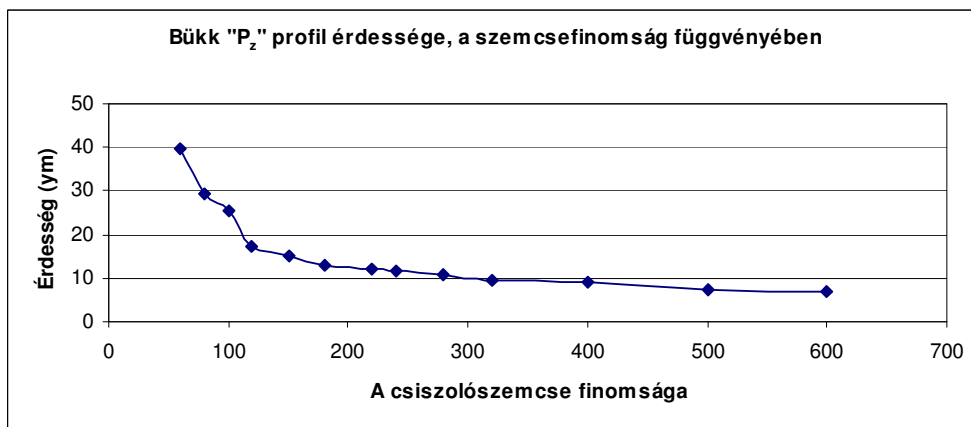
Ezért az azonos nyomban történő többszöri mérést lehetőleg kerülni kell, a relatív dőlés kiküszöbölése után a tút 10 µm-rel tovább kell léptetni.

6.5. A különböző profilok érdességének kiértékelése, az edények szűrése után

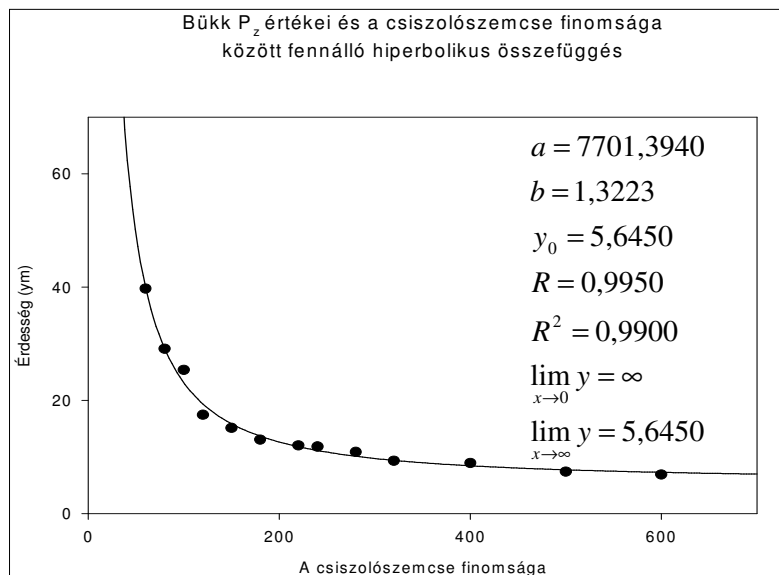
6.5.1. Különböző szemcsefinomsággal csiszolt P profilok kiértékelése az edények szűrése után

6.5.1.1. A bükk minta „P_z” érdessége

Az edények kiszűrésével a választott nagyedényes fajok makrotopológiai állapotát térképeztem fel, abban a reményben, hogy ezeknél a fafajoknál is lehetőség nyílik a szemcsefinomság és a felületi érdesség között várt korreláció kimutatására. A várt eredményt ebben az esetben a bükk szolgáltatja, mint kontroll minta. Általánosan ismert tény és a szakirodalmi adatok is alátámasztják, hogy a bükk felületi érdessége jól korrelál a különböző befolyásoló tényezőkkel. A továbbiakban a különböző nagyedényes fafajokon kapott érdességi adatokat a bükk mintáival vetem össze.



64.ábra



65.ábra

Az összefüggések elemzéskor az érdességi értékek P_z adataira $y = y_o + \frac{a}{x^n}$ alakú hiperbolát illesztettem. A hiperbola $R=0,995$ korrelációs és $R^2=0,990$ determinációs együtthatóval illeszkedik (65. ábra). A szemcsefinomság és az érdesség összefüggésének vizsgálatakor a mért adatok jól tükrözik azt az elvárást, hogy a csiszolószemcse finomságának növekedése egyre simább, egyre kisebb érdességű felületet eredményez. A bükköt a továbbiakban úgy tekintem, mint egy olyan nagy edényektől mentes fafajt, amelynek érdessége jól korrelál a különböző befolyásoló paraméterekkel, így a csiszológáton szemcsefinomságával is. Erre való tekintettel a bükk mintán kialakuló érdességi értékek jó alapot szolgáltatnak a tölgy, kőris, akác és nyír minták edényszűrés után előálló érdességével való összehasonlításra. Az edények szűrése nélkül az említett fafajokon a megmunkálás minősége és az érdességi paraméterek között korreláció nem mutatható ki. Az edényeket kiszűrve, a várható eredmény egy,- a bükkéhez közelálló illeszkedés az azonos egyenletű hiperbolára.

6.5.1.2. Az Akác, Tölgy, Nyír és Kőris minták „ P_z ” érdessége edényszűrés után

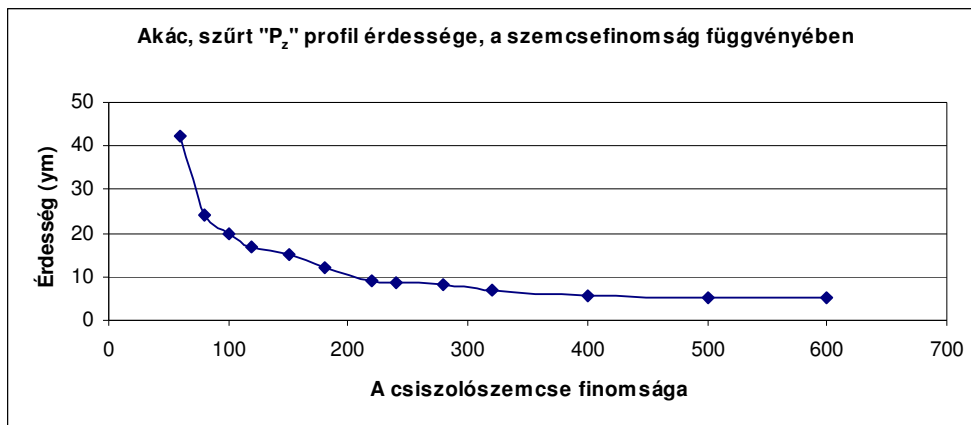
A bükk minta érdességének adatait összevetve a csiszolószemcse finomságával, olyan hiperbolát kaptam, mely $R=0,995$ korrelációs illetve $R^2=0,990$ determinációs együtthatóval illeszkednek az $y = y_o + \frac{a}{x^n}$ általános egyenletű, eltolt hiperbolára, jelezve a bükk minta alkalmasságát a szűrt profilokkal való összevetésre (3. számú melléklet).

A vizsgált fafajok edénymentes P_z érdességi értékeire illesztett azonos általános megfogalmazású hiperbola hasonló, kedvezően magas korrelációs és determinációs együtthatókat adott. Akácnál (67. ábra) a korrelációs együttható $R= 0,9939$, a determinációs együtthatója $R^2=0,9879$, kőrisnél (73. ábra) a korrelációs együttható $R= 0,9884$, a determinációs együtthatója $R^2=0,977$, nyírnél (71. ábra) a korrelációs együttható $R= 0,986$, a determinációs együtthatója $R^2=0,9722$. A tölgy (69. ábra) esetében a korrelációs együttható $R=0,9836$, a determinációs együttható $R^2=0,9675$.

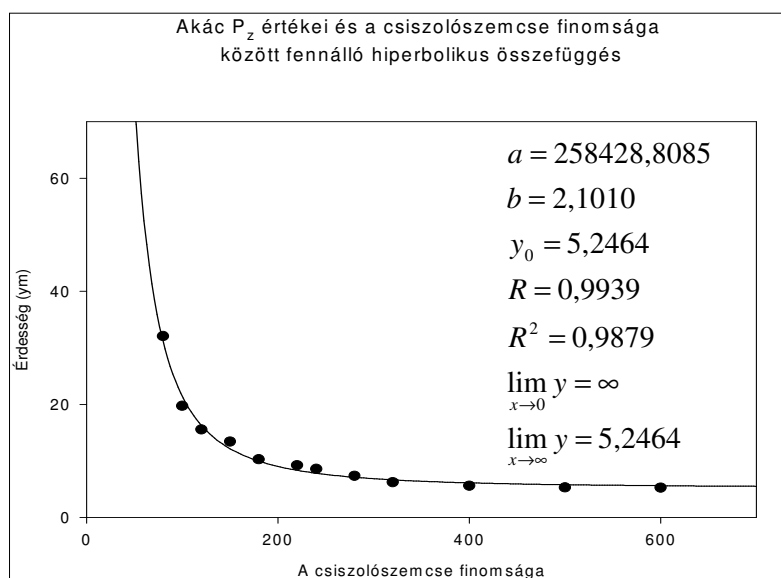
A továbbiakban, elméletben vizsgálva az egyre finomabb szemcsével történő csiszolás eredményeképpen előálló felületi érdesség várható P_z értékeit (x tart a ∞ -hez), elmondható, hogy a különböző fafajok esetében nagyon közeli határértékek adódnak, összességében 5,1623 és 6,313 μm között. A tartomány olyan keskeny, kevesebb mint 1 μm -nyi, hogy edényszűrés után az érdesség fajaj-függetlenségére enged következtetni, a vizsgált fajok tekintetében.

Összevetve a kapott eredményt a bükk mintával, megállapítható, hogy a határértékek a bükk minta 5,6450 μm -es várható P_z értékének szoros közelségében vannak. A korrelációs együtthatók igen jó illeszkedést mutatnak, az $y = y_o + \frac{a}{x^n}$ egyenletű hiperbolára. Ez a vizsgálati eredmény egyrészt alátámasztja azt a tapasztalati tényt, hogy a bükk fafaj alkalmas a megmunkálás minőségi különbségeinek kimutatására, másrészt rámutat arra, hogy a vizsgált nagyedényes fafajok az edénymentes szakaszokon, vagyis az alapszöveten, a bükk mintához közelálló érdességet mutatnak, fafajtól függetlenül. A végtelen finom csiszolópapírral történő csiszolás 5 és 6 μm közötti várható érdességre enged következtetni, mint ami a faanyag olyan jellemző érdessége, amelynél jobbat kézi csiszológéppel előállítani nem lehetséges. Vizsgálva a fafajok legdurvább szemcse esetén előálló érdességét (x tart a 0-hoz) a rendkívül jól illeszkedő $y = y_o + \frac{a}{x^n}$ hiperbola egyenletéből az következik, hogy egyre durvuló szemcse esetén a felület érdessége végtelenül nagy lesz.

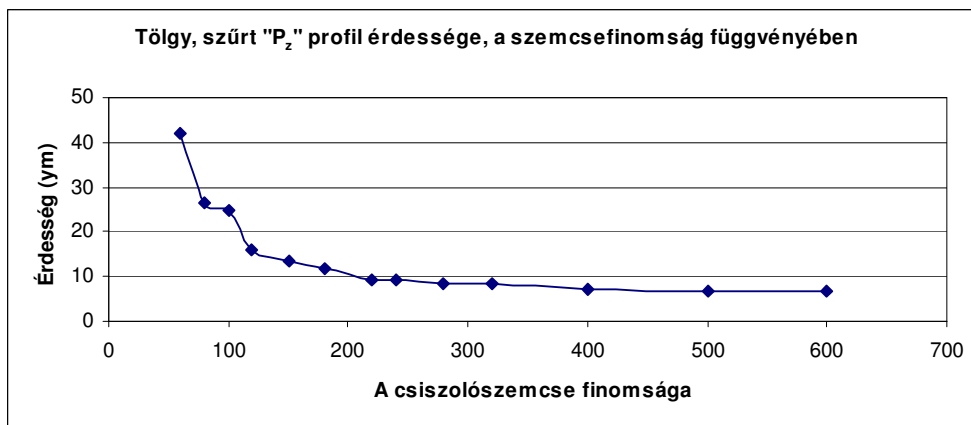
Szem előtt tartva az értelmezés jelentéstartalmát, kijelenthető, hogy a durvuló szemcse által létrehozott határérdesség definiálásának gyakorlati jelentősége csekélyebb, mint az egyre finomabb szemcse nyomán előálló határérdességé. A gyakorlat számára elsősorban a 60-tól 320 –as szemcseméretig terjedő tartománynak van jelentősége.



66.ábra

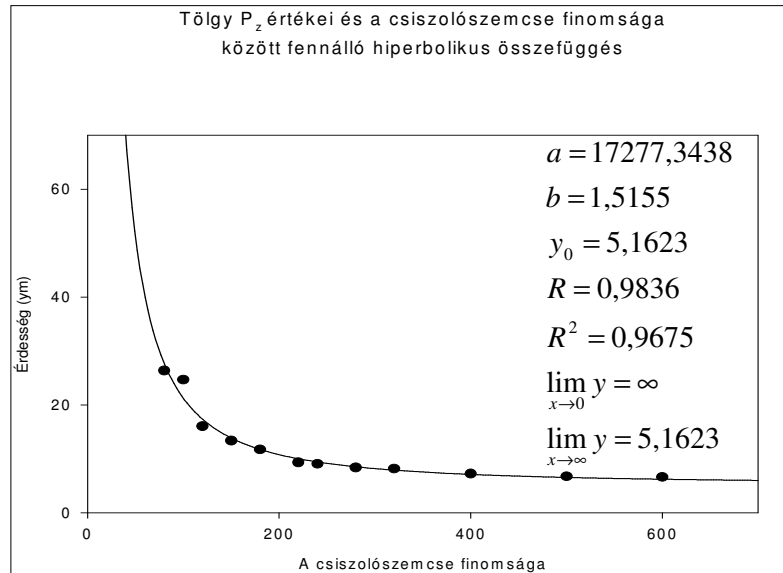


67.ábra

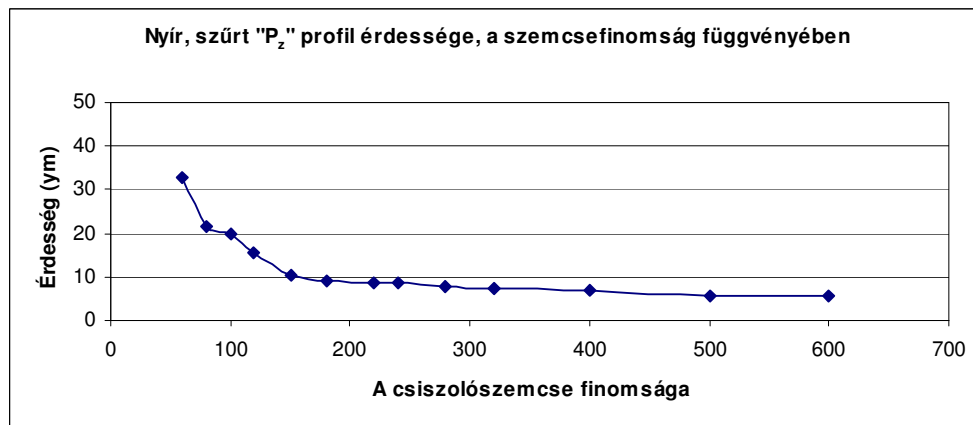


68.ábra

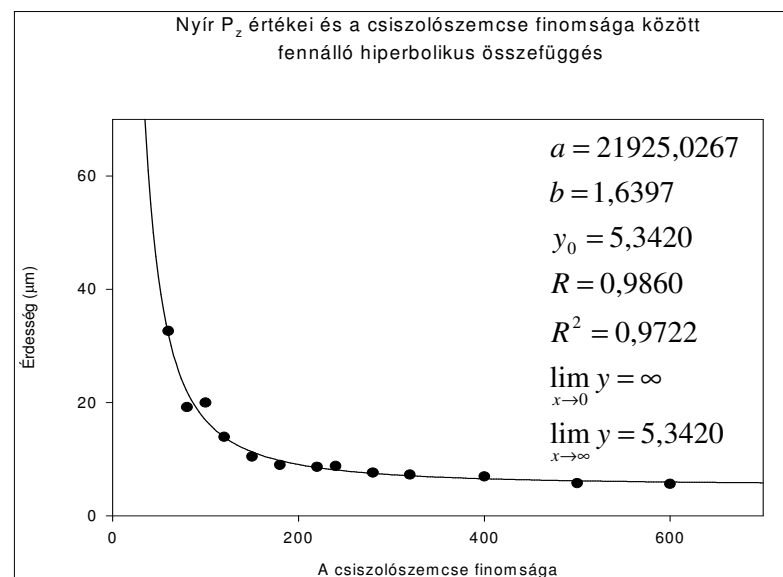
6. A kutatómunka eredményei, a mérési eredmények kiértékelése



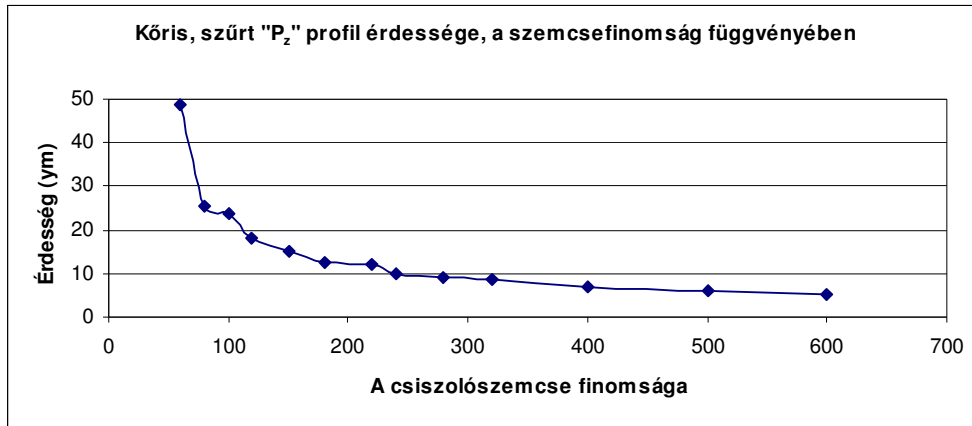
69.ábra



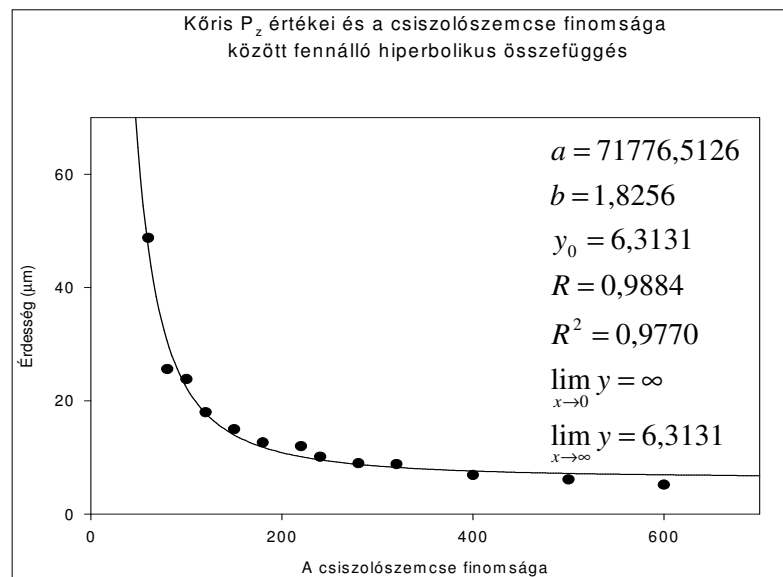
70.ábra



71.ábra



72.ábra



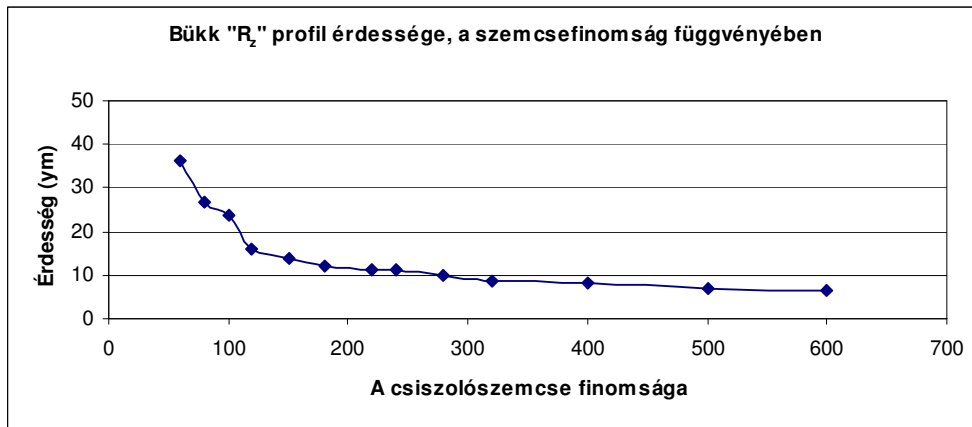
73.ábra

A hiperbolák illesztése Sigma Plot program segítségével történt, szemcseméretenként 5 mintán végzett mérések P_z értékeinek átlagára. A mellékelt digitális adathordozón megtalálható grafikonokat csak a fent megnevezett program tudja kezelni.

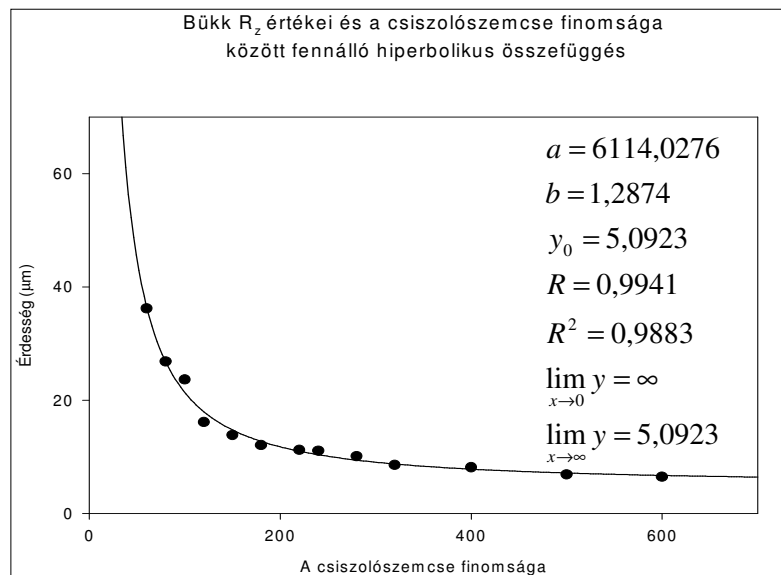
6.5.2. Különböző szemcsefinomsággal csiszolt minták R_z profiljainak kiértékelése az edények szűrése után

6.5.2.1. A bükk minta R_z érdessége

Az edények és a hullámösszetevő kiszűrése után megvizsgáltam a fent említett fafajokon az R_z paraméter viselkedését is. A bükköt, mint kontroll mintát vizsgálva (75. ábra), azt találtam, hogy a korábban a P_z paraméterekre illesztett, $y = y_0 + \frac{a}{x^n}$ általános egyenletű, eltolt hiperbola R=0,994 korrelációs illetve R²=0,9883 determinációs együtthatóval illeszkedik az R_z értékekre. A P_z értékek illeszkedéséhez képest ez egy csekély, alig néhány ezred csökkenést jelent. A bükk minta R_z határérdessége hullám leválasztás után 5,0923 μm-hez tart. A kiváló illeszkedés arra utal, hogy sikerült megtalálni annak a hiperbolának az egyenletét, amely jól jellemzi a szemcsefinomság és az érdesség között fennálló összefüggéseket.



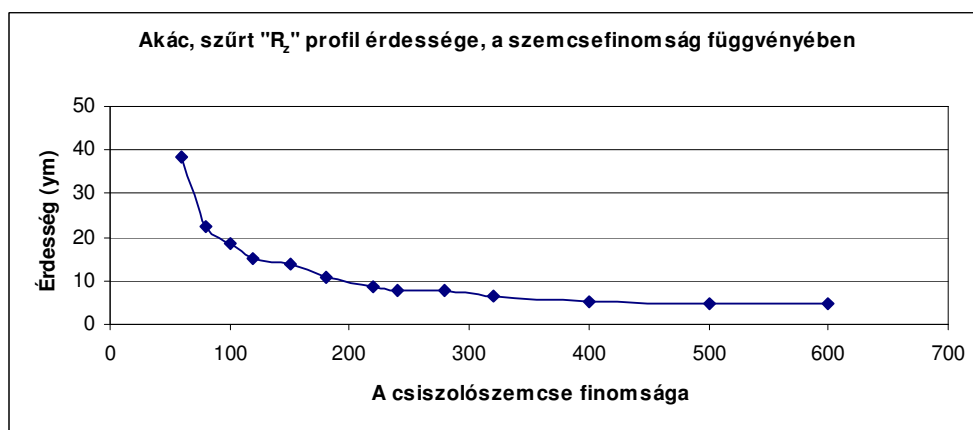
74.ábra



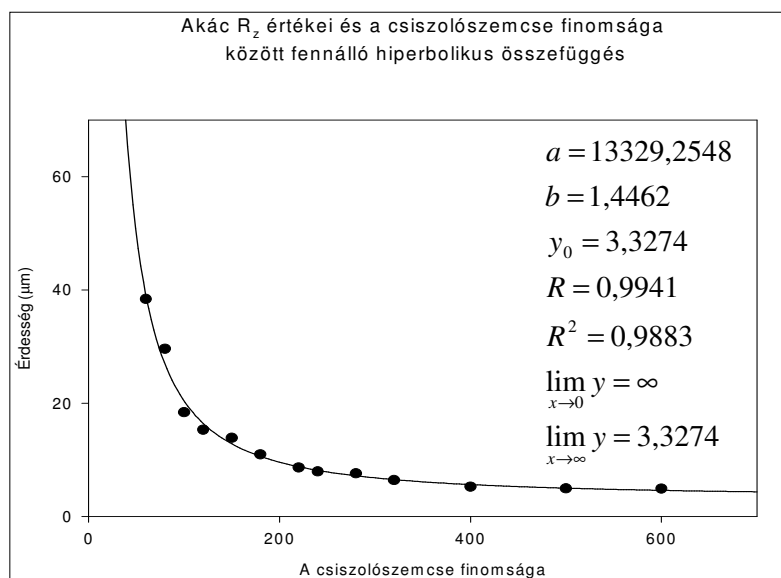
75.ábra

6.5.2.2. Az Akác, Tölgy, Nyír és Kőris minták R_z érdessége edényszűrés után

Akác mintánál (77. ábra) az $y = y_0 + \frac{a}{x^n}$ egyenletű hiperbolát illesztve, a korrelációs együttható $R=0,9941$, a determinációs együttható $R^2=0,9883$. Az ide tartozó P_z értékek valamivel alacsonyabb együtthatókkal rendelkeznek (korábban $R=0,9939$, illetve $R^2=0,9879$), ami azt jelenti, hogy a fellelhető hullámösszetevő kiszűrésével az illeszkedés javult. A minta végtelenül finom (x tart a ∞ -hez) szemcse esetén $R_z=3,3274 \mu m$ határértékhez tart. A P profilon előállt ($5,2464 \mu m$) határértékéhez képest a hullámösszetevő szűrése az akác mintán az összes csiszolópapír (szemcseméret) függvényében a várható érdesség $1,91 \mu m$ -es csökkenését eredményezte. Durvuló szemcse (x tart a 0 -hoz) esetén a várható határérték végtelenül nagy.

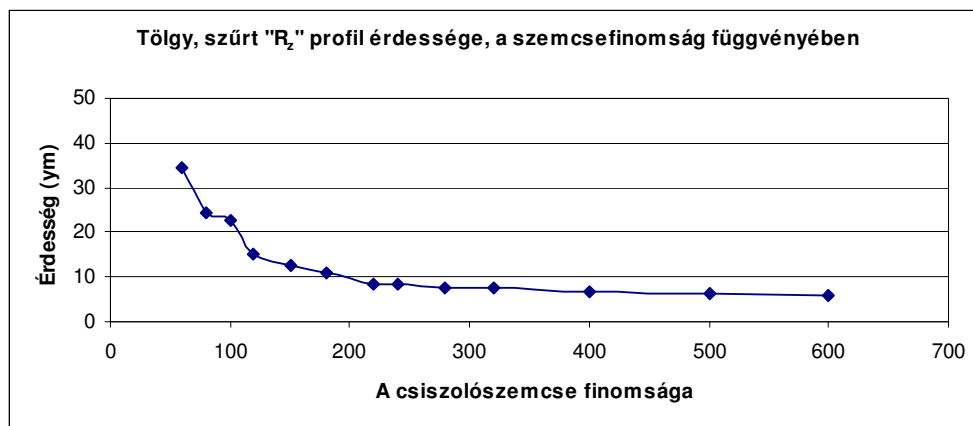


76.ábra

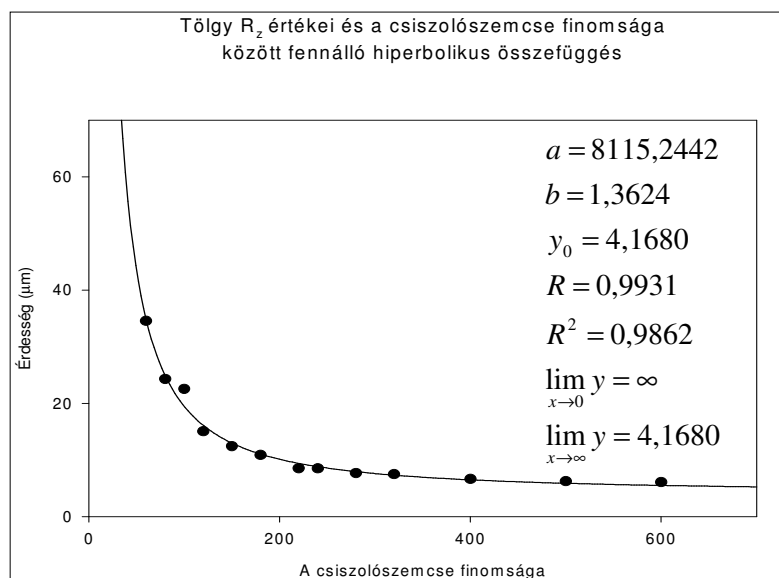


77.ábra

Tölgy mintánál (79. ábra) a korrelációs együttható $R=0,9931$, a determinációs együttható $R^2=0,9862$. A P_z értékek valamivel alacsonyabb együtthatókkal rendelkeznek (korábban $R=0,9836$, illetve $R^2=0,9675$), ami azt jelenti, hogy a fellelhető hullámösszetevő kiszűrésével az illeszkedés javult. A minta végtelenül finom (x tart a ∞ -hez) szemcse esetén $R_z=4,168 \mu\text{m}$ határértékhez tart. Az ide tartozó P profilon előállt ($5,1623 \mu\text{m}$) határértékhez képest a hullámösszetevő szűrése az akác mintán az összes csiszolópapír (szemcseméret) függvényében $0,9943 \mu\text{m}$ csökkenést eredményezett a várható érdesség értékében. Durvuló szemcse (x tart a 0 -hoz) esetén a várható határérték végtelenül nagy.

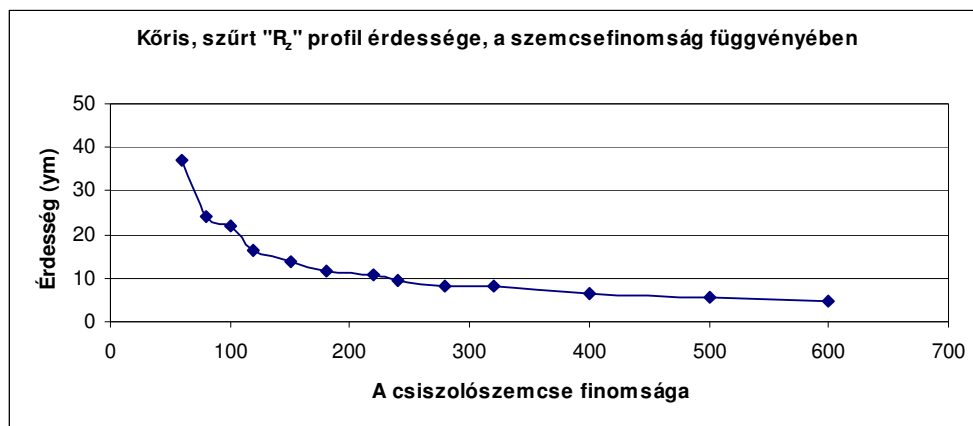


78.ábra

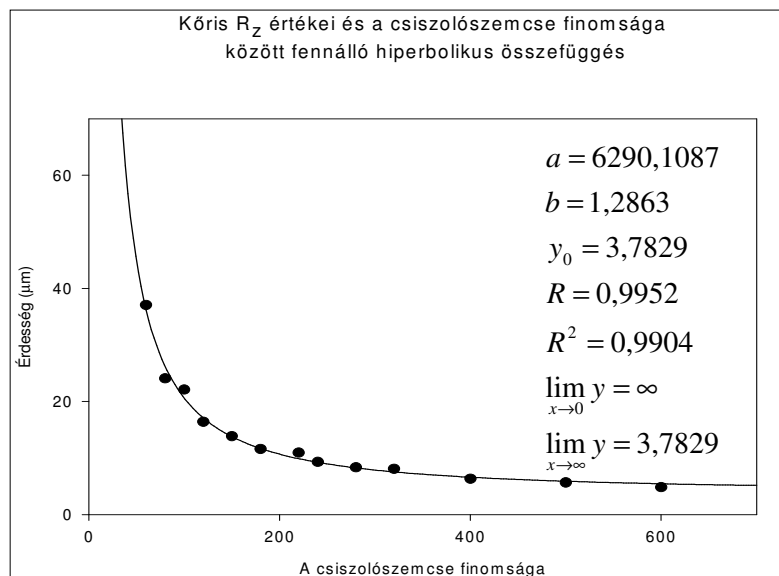


79.ábra

Kőris mintánál (81. ábra) a korrelációs együttható $R=0,9952$, a determinációs együttható $R^2=0,9904$. A P_z értékek valamivel alacsonyabb együtthatókkal rendelkeznek (hullámszűrés előtt $R=0,9884$, illetve $R^2=0,977$), ami azt jelenti, hogy a fellelhető hullámösszetevő kiszűrésével az illeszkedés javult. A minta végtelenül finom (x tart a ∞ -hez) szemcse esetén $R_z=3,7829 \mu\text{m}$ határértékességhez tart. Az ide tartozó P profilokon előállt ($6,3131 \mu\text{m}$) határértékességhez képest a hullámösszetevő szűrése a kőris mintán az összes csiszolópapír (szemcseméret) függvényében $2,5302 \mu\text{m}$ csökkenést eredményezett a várható érdesség értékében. Durvuló szemcse (x tart a 0 -hoz) esetén a várható határértékesség végtelenül nagy.



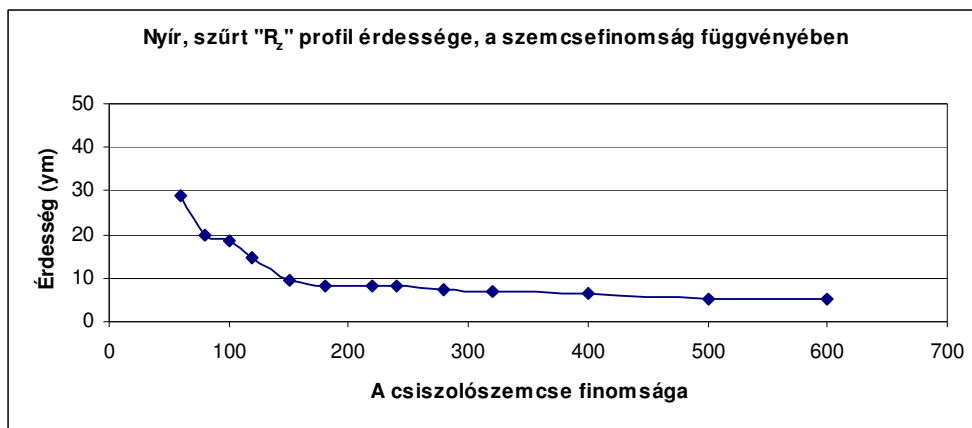
80.ábra



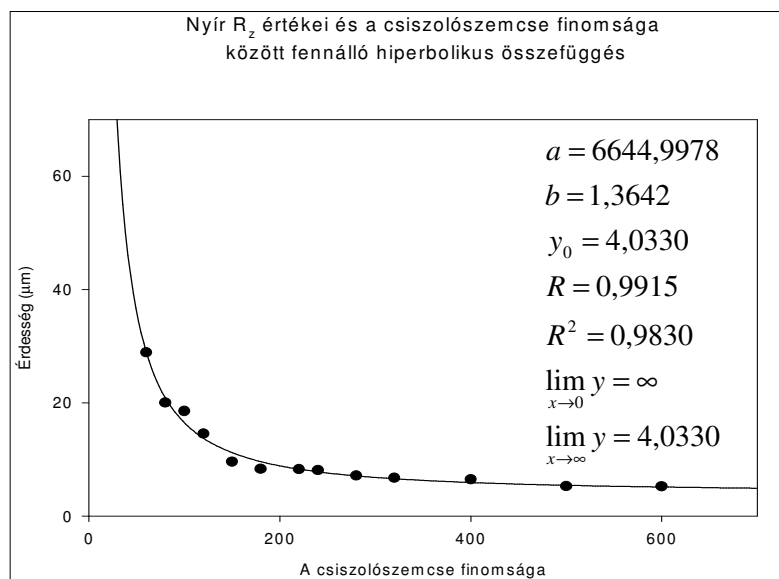
81.ábra

A csiszolószemcse minden határon túli növelésével kapott érdességi határértékek az adott fafaj ún. „anatómiai” érdességére adhatnak felvilágosítást. Attól mérés technikai okokból térnek el, amennyiben a tapintótűs érdességmérővel nyert jellemzőink értékei a tú geometriájából adódóan csak közelítik a megmunkálás nyomán kialakult valóságos profil tényleges jellemző értékeit.

Nyír mintánál (83. ábra) a korrelációs együttható $R=0,9915$ a determinációs együttható $R^2=0,9830$. A P_z értékek valamivel alacsonyabb együtthatókkal rendelkeznek (korábban $R=0,9860$, illetve $R^2=0,9722$), ami azt jelenti, hogy a fellelhető hullámösszetevő kiszűrésével az illeszkedés javult. A minta végtelenül finom (x tart a ∞ -hez) szemcse esetén $R_z=4,033$ μm határérdességhez tart. A P profilon előállt ($5,3420$ μm) határérdességhez képest a hullámösszetevő szűrése az akác mintán az összes csiszolópapír (szemcseméret) függvényében $1,309$ μm csökkenést eredményezett a várható érdesség értékében. Durvuló szemcse (x tart a 0 -hoz) esetén a várható határérdesség végtelenül nagy.



82.ábra



83.ábra

Egy minősítő rendszer felállításánál figyelembe kell venni, hogy a látszólag kicsi érdességi értékbeli különbségek ellenére is, edényszűrés után az R profilokon fennáll az érdességi értékek fajaj-függősége. Az egyes csiszolószemcse nagysághoz tartozó érdesség értékek tartománya ugyanis olyan szűk ($1-2$ μm), hogy ennek tükrében a különböző fajok várható érdessége közötti $1-2$ μm -nyi érdesség-különbséget, mint enyhe fajaj függést kell értelmezni.

6.5.3. Különböző berendezésen azonos szemcsefinomsággal kialakított felületek P és R profiljának kiértékelése, a hullámparaméter figyelembe vételével

Akác P120,gépi				Akác P120,kézi			
P_z	R_z	P_z/R_z	W_z	P_z	R_z	P_z/R_z	W_z
14,360	14,218	1,010	0,982	15,674	14,380	1,090	3,549
16,088	15,510	1,037	1,677	16,812	15,838	1,061	1,516
13,304	13,074	1,018	0,843	15,980	14,098	1,133	4,163
12,924	12,572	1,028	1,637	16,662	15,462	1,078	2,169
13,410	13,296	1,009	0,753	15,200	14,094	1,078	2,017

Akác P150,gépi				Akác P150,kézi			
P_z	R_z	P_z/R_z	W_z	P_z	R_z	P_z/R_z	W_z
10,276	10,184	1,009	0,792	13,660	12,852	1,063	1,247
11,824	11,624	1,017	1,148	14,946	13,450	1,110	3,621
12,640	12,378	1,021	1,325	15,212	13,678	1,075	2,675
10,962	10,604	1,034	1,359	14,714	13,238	1,111	3,049
11,974	11,866	1,009	0,527	13,920	13,058	1,062	1,374

Akác P180,gépi				Akác P180,kézi			
P_z	R_z	P_z/R_z	W_z	P_z	R_z	P_z/R_z	W_z
9,754	9,392	1,039	1,267	11,322	10,487	1,080	1,834
10,284	10,242	1,004	0,530	12,970	12,182	1,060	1,349
9,922	9,716	1,021	0,742	11,134	10,414	1,061	1,543
9,668	9,464	1,022	0,876	11,640	10,636	1,090	2,274
9,426	9,212	1,023	1,002	12,372	11,381	1,080	2,094

84.ábra

Annak érdekében, hogy a csiszolószemcsék kellően széles skáláján vizsgálhassam a szemcsefinomság és az érdesség összefüggését, a mintákat kézi csiszológéppel, új csiszoló papírokkal csiszoltam meg. A kézi csiszológép azonban várhatóan hullámosabb felületet ad, mint a papucsos kontakteszizoló, így a két csiszolási móddal előállított profilok hullámosságának összehasonlítására, a vizsgálatokat kiegészítettem üzemi körülmények között, előállított felületek mérésével is. A vizsgálatok tárgya ez esetben csak az akác minta, melyen az edények kiszűrése után P, R és W profilokat vettem fel (84. ábra). A hullámösszetevő szűrését robusztus Gauss szűrővel végeztem. A P és R profil közötti eltérés vizsgálatára felvettem a „ P_z ”/ R_z hányadost, annak kimutatására, hogy egy esetleges kis amplitúdójú, nagy hullámhosszú hullám jelenléte esetén P_z értékei hányszoros növekedést mutatnak. További kiegészítésként mértem a W_z hullámparamétert is, hogy teljes képet kapjunk a P/R hányados és a profil hullámosságának egymáshoz való viszonyáról.

W_z öt alaphosszon (egyedi mérési szakaszon) a borítékoló vonalak közti hullámértékek számtani átlaga - R_z mintájára - (6.2.8. fejezet).

Kézi csiszológépen, 120-as vászonnal csiszolt minták P_z/R_z értékei általában 1,06 és 1,130 között vannak (84. ábra), ami 6 és 13 % közötti változást jelöl. Ezzel

szemben a kontaktcsiszolón megmunkált felületek P_z/R_z hányadosa 1,04 alatt marad, ami 4%-nál kisebb változást jelent.

A 120-al, kézi csiszológéppel csiszolt minták W_z hullámparaméterei általában 1,5 és 4,1 μm közötti értéket mutatnak. Ezzel szemben a kontaktcsiszolón megmunkált mintákon 0,7 és 1,6 μm közötti hullámértékeket mértem.

A hullám szűrése után kézi és kontakt csiszológépen megmunkált felületeken, R_z -re közelálló érdességi értékeket kaptam, az alacsonyabb értékek kontaktcsiszolón megmunkált mintákon mérhetők. A maximális eltérés 3 μm , ami alátámasztja, hogy különböző berendezéseken kissé különböző felületminőség jön létre, azonos csiszolószemcse (és vászon) alkalmazása mellett. A felületek R_z érdességi paraméterében csak kismértékű, a W_z hullámparaméterben ennél nagyobb értékű-, 3-4 μm -es eltérések vannak.

A 150-el, kézi csiszolóval csiszolt minták P_z/R_z értékei általában 1,06 és 1,11 között vannak, ami 6 és 11 % közötti változást jelöl. Ezzel szemben a kontaktcsiszolón kialakított felületek P_z/R_z hányadosa 1,04 alatt marad, ami ez esetben is 4%-nál kisebb változást jelöl.

A 150-el, kézi csiszológéppel csiszolt minták W_z hullámparaméterei általában 1,2 és 3,6 μm közötti értéket mutatnak. Ezzel szemben a kontaktcsiszolón megmunkált mintákon 0,5 és 1,3 μm közötti hullámértékeket mértem.

A hullám szűrése után, kézi és kontaktcsiszológépen megmunkált felületeken, R_z -re közelálló érdességi értékeket kaptam, az alacsonyabb értékek kontaktcsiszolón megmunkált mintákon mérhetők. Az eltérések 2-3 μm között vannak. A felületek R_z érdességi paraméterében csak kismértékűek-, a W_z hullámparaméterben az R_z -hez hasonlóan 2-3 μm -esek az eltérések.

A 180-al, kézi csiszolóval csiszolt minták P_z/R_z értékei általában 1,06 és 1,9 között vannak, ami %-osan kifejezve 6 és 9 % közötti változást jelöl. Ezzel szemben a kontaktcsiszolón kialakított felületek P_z/R_z hányadosa ez esetben is jelentősen 1,04 alatt marad, ami 4%-nál kisebb változást jelöl.

A 180-al, kézi csiszológéppel csiszolt minták W_z hullámparaméterei általában 1,3 és 2,2 μm közötti értéket mutatnak. Ezzel szemben a kontaktcsiszolón megmunkált mintákon 0,5 és 1,2 μm közötti hullámértékeket mértem.

A hullám szűrése után kézi és kontakt csiszológépen megmunkált felületeken, R_z -re közelálló érdességi értékeket kaptam, az alacsonyabb értékek kontaktcsiszolón megmunkált mintákon mérhetők. Az eltérések 1-2 μm között vannak. A felületek R_z érdességi paraméterében csak kismértékűek, a W_z hullámparaméterben 1-1,5 μm -rel nagyobbak az eltérések.

A 2-3 μm -es eltérések nagyon kicsik, azonban nem elhanyagolhatóak. A 120-al, 150-el és 180-al csiszolt felületekre jellemző R_z értékekben csak 1-2 μm az eltérés. A csiszolással előállított – felületminőségi – érdesség-tartományok nagyon szűkek, ezért a kézi és gépi csiszoló berendezéssel előállított érdességi paraméterek eltérésének jelentéstartalmát ennek tükrében kell figyelembe venni.

Ez az eredmény rávilágított arra, hogy egy (pl. gyártásközi) minősítő rendszer összeállításához elengedhetetlenül szükséges a 2-3 μm -nyi hibát okozó hagyományos Gauss szűrő lecserélése robusztus regressziós Gauss szűrőre, az edények kiszűrése az objektív és precíz mérés érdekében, a P_z , R_z és W_z paraméterekre alapozva. A minősítéshez elengedhetetlenül fontos megadni vagy a W_z hullám-, vagy az R_z érdességi pa-

raméert, mivel a P_z/R_z viszonyszám csak azt mutatja meg, hogy hányszor nagyobb az elsődleges profil, mint az R profil.

Megfigyelhető, hogy a kontaktsiszolón kialakított felületek esetében a P_z/R_z értékek rendre kisebbek 4%-nál. Kézi csiszolón kialakított felületek esetében a hányados értéke nagyobb 1,05-nél. A P/R viszonyban az 5%-os eltérés a két megmunkálásra jellemző határérték.

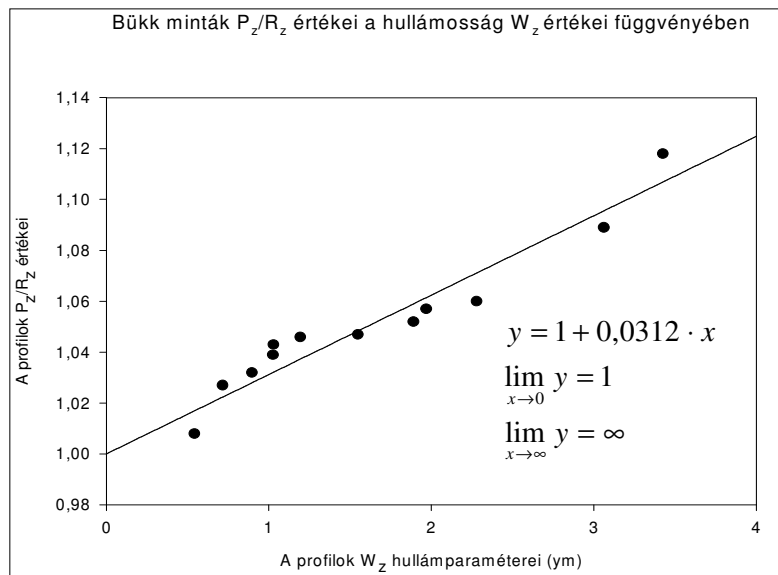
A papucsos kontaktsiszolón a P/R viszonyban azonos szemcsefinomságnál előálló - 4~5% alatti - különbségek még inkább alátámasztják hogy a P profilból edényszűrővel előállított P_z , R_z és W_z paraméterek üzemi körülmények között alkalmasak a felület minősítésére.

Arra a gyakorlati tapasztalatra alapozva, hogy a kézi csiszoló rosszabb minőségű (hullámosabb) felületet alakít ki, mint a kontaktsiszoló, sikerült bizonyítani, hogy P_z/R_z , illetve a W_z paraméter alkalmas a különbözőképpen megmunkált felületek minősítésére. Az edények kiszűrésére kidolgozott módszer alkalmas és szükséges, a különböző minőségű felületek között fennálló érdesség-különbségek kimutatására.

6.5.4. A P_z/R_z értékek és a hullámosság W_z értékeinek összefüggése

6.5.4.1. A bükk minta P_z/R_z és W_z értékei

Az edények kiszűrése után felvett P_z/R_z hányados a profil hullámosságára enged következtetni, de nem ad információt arról, hogy ez a hullámosság milyen felületi érdesség mellett áll elő. Elméletileg eltérő érdességű profilokhoz is tartozhat azonos P/R viszony. Ahhoz hogy további információt kapjunk a hullámosság és a P/R hányados viszonyáról, felvettem a hullámok W_z paramétereit. A bükk minták adatainak illeszkedését a továbbiakban is mérvadónak tekintem.



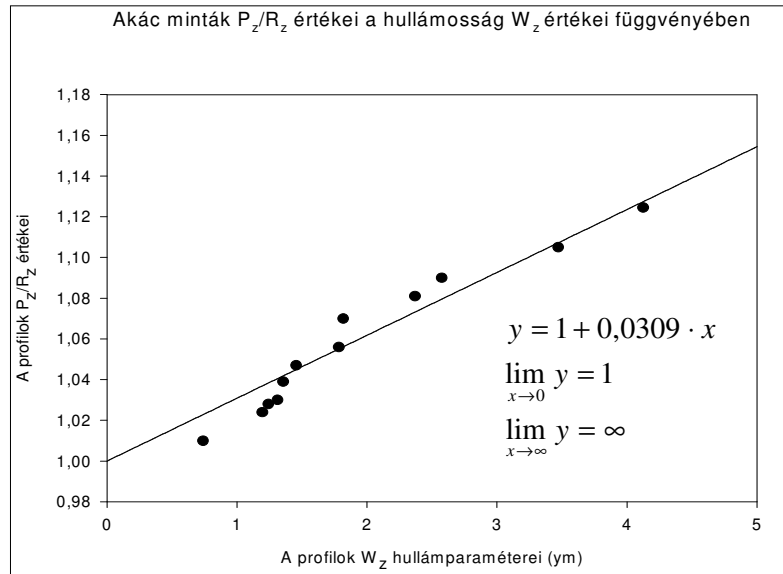
85.ábra

Az értékpárookra az $y = 1 + a \cdot x$ egyenletű egyenes $R=0,959$ -es korrelációs együtthatóval illeszkedik (85.ábra). A P/R viszony 1-nél kisebb számokra nem értelmezhető, ezért az egyenes balról (0;1)-el korlátos. Bükk mintáknál a W_z hullámértékek kellően széles - 4 μm -nyi - tartományt ölelnek fel ahhoz, hogy a pont-párookra illesztett egyenest megbízhatónak tekinthessük. Az egyenes meredeksége $a=0,0312$.

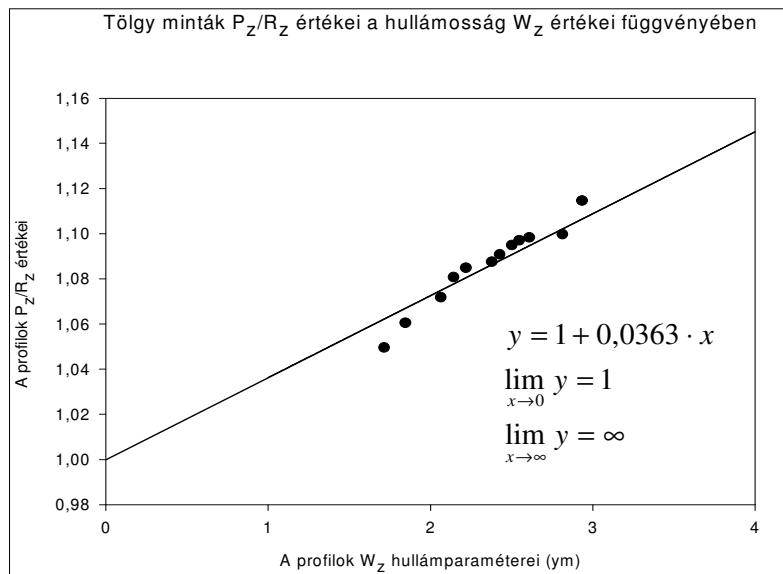
6.5.4.2. Akác, Tölgy, Kőris és Nyír minták P_z/R_z és W_z értékei

A P/R viszony 1-nél kisebb számokra nem értelmezhető, ezért az illesztett egyenesek balról (0;1)-el korlátosak.

Az értékpárookra az $y = 1 + a \cdot x$ egyenletű egyenes Akác mintánál $R=0,965$ -ös korrelációs együtthatóval illeszkedik (86. ábra). A W_z hullámértékek kellően széles – közel $5 \mu\text{m}$ -nyi - tartományt ölelnek fel ahhoz, hogy a pont-párookra illesztett egyenest megbízhatónak tekinthessük. Az illesztett egyenes meredeksége $a=0,0309$, ami a kontrollmintaként felhasznált bükkéhez közel áll.



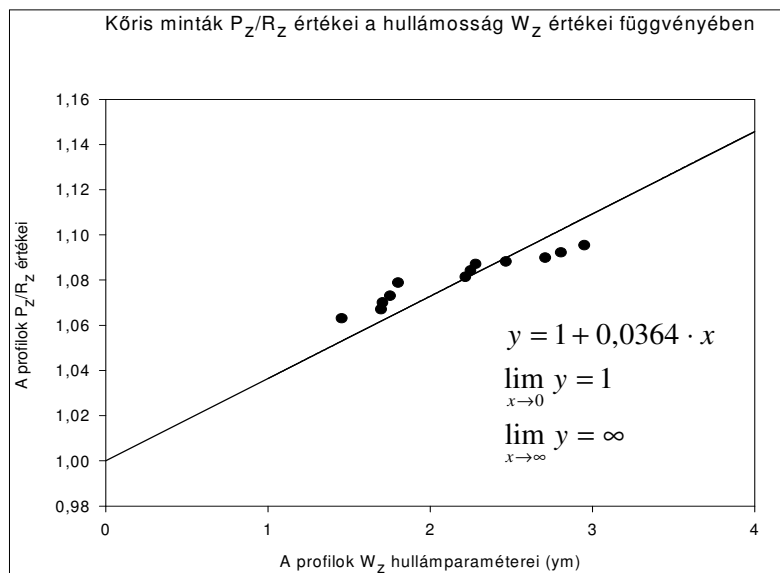
86. ábra



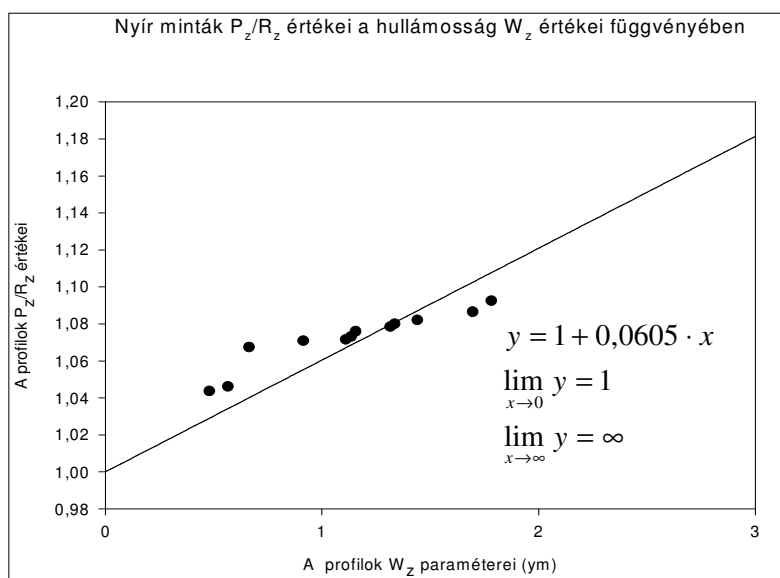
87. ábra

Tölgy mintánál (87.ábra) a korrelációs együttható $R=0,951$. Az egyenes meredeksége $a=0,0363$ ami a bükk és akác mintákhoz közel áll. A W_z hullámértékek szűk $2\ \mu\text{m}$ -nyi tartományt ölelnek fel, nincsen olyan nagyobb hullámérték a lemert mintákon, ami a tartományt széthúzná.

Kőris és nyír minták adataira való illesztésnél a korrelációs együttható nagyon kedvezőtlen: $R=0,59$ illetve $R=0,418$. A jelenség okára a W_z hullámértékek tartománya ad magyarázatot. Mindkét fafaj esetében véletlenszerűen alig $1,5\text{-}2\ \mu\text{m}$ -nyi tartományt ölelnek fel, ami túl szűknek bizonyul ahhoz, hogy széleskörű összefüggést állíthassunk fel. Szükség lenne olyan alacsonyabb és magasabb hullámértékekre, amelyek a mért mintákon nem álltak elő. A mérésorozat kiértékelése azt mutatja, hogy kőris és nyír mintákon - a csiszolószemcsék egészen széles skálája mellett is - a hullámosság szűk tartományban áll elő. Még a kézi csiszológéppel való megmunkálás is alacsony hullámértékeket eredményez, ami arra utal, hogy ezek a fafajok jól csiszolhatók1.



88.ábra

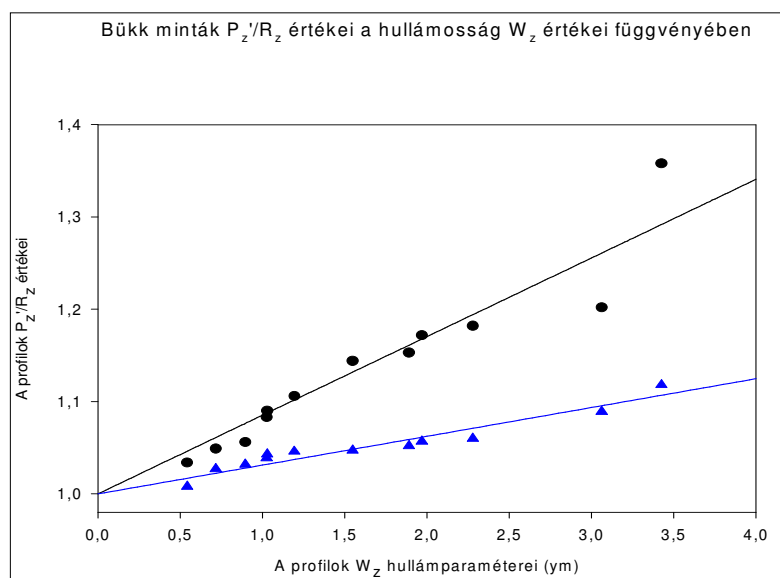


89.ábra

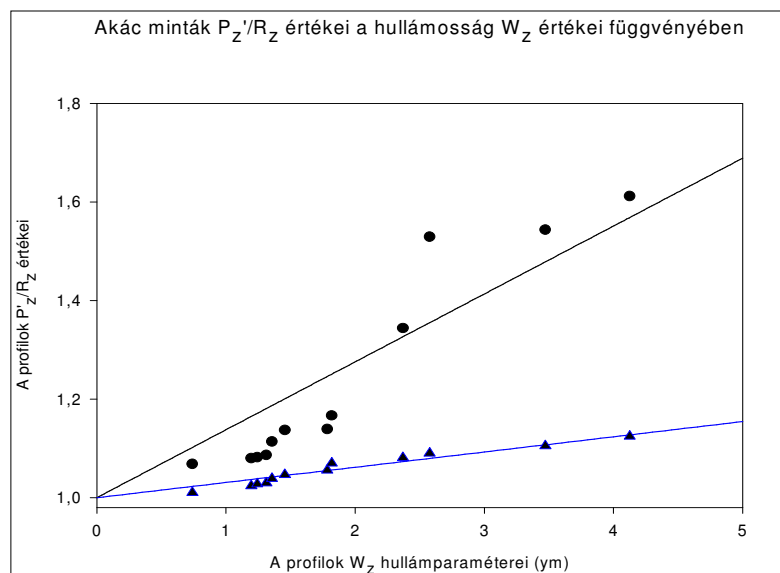
Összegzés: csak a bükk, akác és tölgy mintákra jól illeszkedő, egymással majdnem egybe-
 vágó egyenesek fejezik ki helyesen - kellően széles W_z tartományra alapozva - az
 általános érvényű összefüggést a P/R hányados és a W_z hullámértékek között.

6.5.5. A minták mért és számított P_z értékeinek összehasonlítása

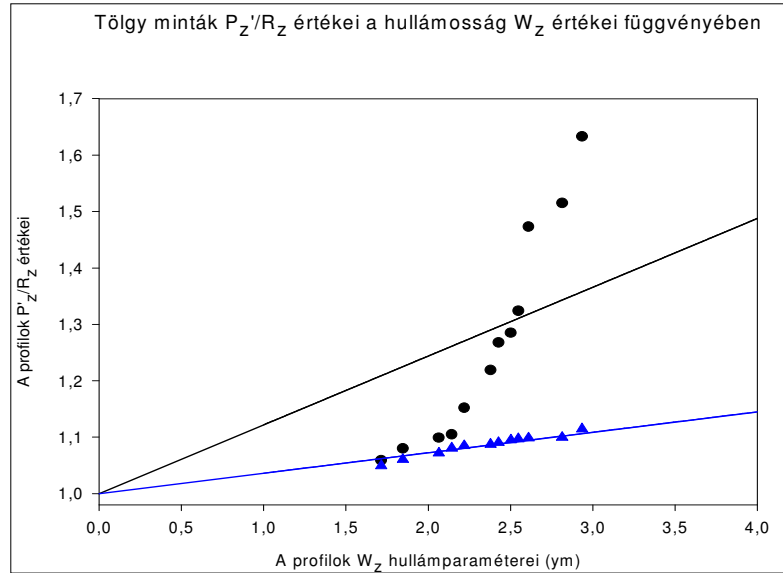
Az elsődleges profilhoz hozzárendelt P_z érdességi paraméter a W_z hullám paraméterrel
 kiegészülve jól jellemzi a mért helyen a felület állapotát. A P profil egyaránt tartalmaz-
 za a hullámosságot és az érdességet. P_z paraméterének jelentéstartalmát további ellenör-
 zésnek vettem alá. azért, hogy kimutassam, mekkora különbségek vannak a mért illet-
 ve - az érdességi R_z és hullámossági W_z paraméterek összegeként – számított P_z' érté-
 kek között ($P_z' = R_z + W_z$).



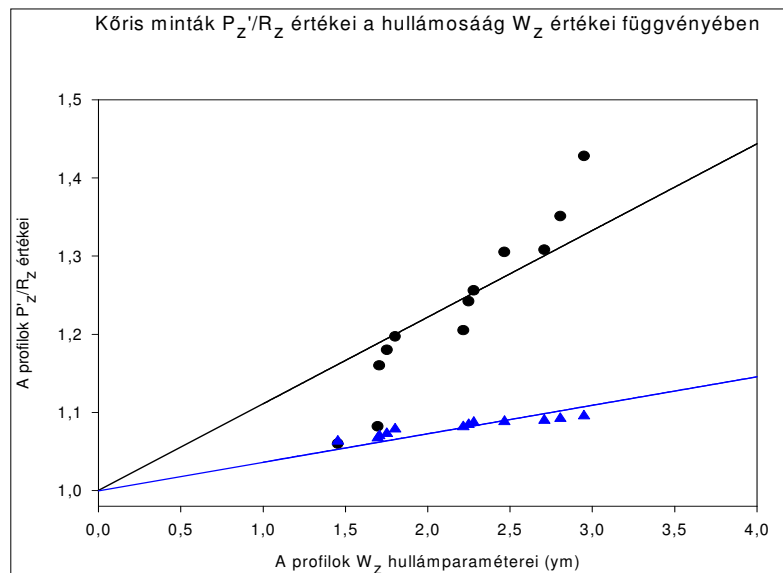
90.ábra



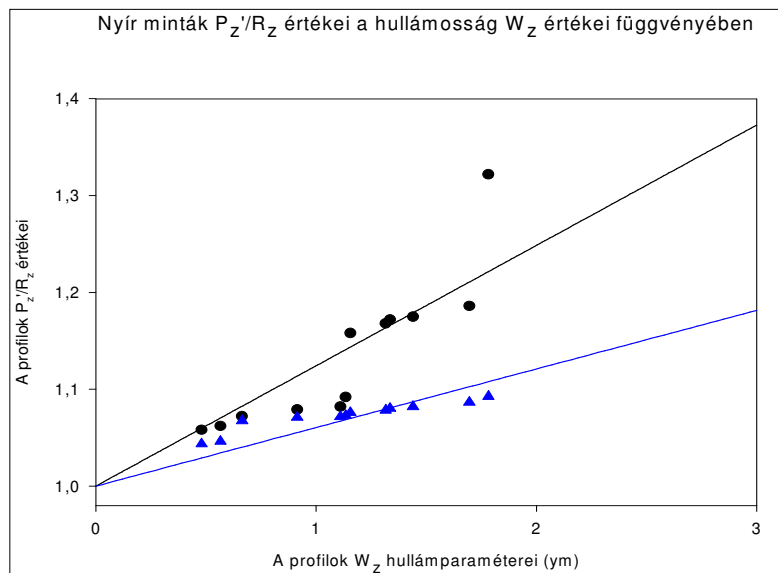
91.ábra



92.ábra



93.ábra



94.ábra

Az érdességi és hullámparaméterének összegzésével rendre nagyobb P_z' értékeket kaptam, mint a mért P_z értékek.

A P profil egyaránt tartalmazza az érdességi és a hullámprofil, az R profil a P-ből minden egyes adatpontra elvégzett helyi hullámadat értékek kivonásával áll elő, ezért ha a mért szakasz minden egyes adatpontjára végzem az összegzést, a P profil P' -el egybevág. A különbség P_z és P_z' között a P_z , R_z és W_z paraméterek definíciójából adódik, ti., hogy a P_z , R_z és W_z értékeket öt alaphosszon mért P_{zi} , R_{zi} és W_{zi} értékek ($i=1-5$) átlagából számítjuk.

Ennek következtében növekvő hullám mellett egyre nő annak az esélye, hogy az alaphosszokon belül R_z -nek olyan csúcserőke fordul elő, amely hullám leszálló vagy felszálló ágán helyezkedik el és ezért az adott alaphosszon P_{zi} értékében nem jelenik meg.

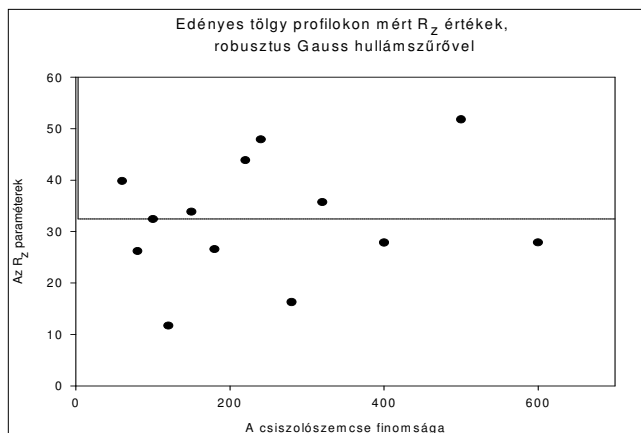
Az maximális eltérés a mért bükk mintáknál $0,34 \mu\text{m}$, akác mintáknál $0,59 \mu\text{m}$, tölgy mintánál $0,61 \mu\text{m}$, kőris mintáknál $0,4 \mu\text{m}$, nyír mintáknál $0,27 \mu\text{m}$.

A különbség az $1 \mu\text{m}$ -nyi értéket fajonként változó W_z hullámossági értéknél éri el: bükk $11,5 \mu\text{m}$, akác $8,8 \mu\text{m}$, tölgy $12,2 \mu\text{m}$, kőris $10,1 \mu\text{m}$ illetve a nyír $6,7 \mu\text{m}$ -nél.

A $(W_z, P_z'/R_z)$ pontpárookra $y = 1 + a \cdot x$ egyenletű egyenesek illeszkednek, dőlésük $5^\circ, 6^\circ, 7^\circ$ körüli. A kapott összefüggés arra hívja fel a figyelmet, hogy növekvő hullámosság mellett a mért értékek egyre jelentősebben alatta maradnak a számolt P_z' értékeknek. Ha az alaphosszak számát nem öt-, hanem több szakaszban állapítjuk meg a mért és számolt értékek egyezése javul.

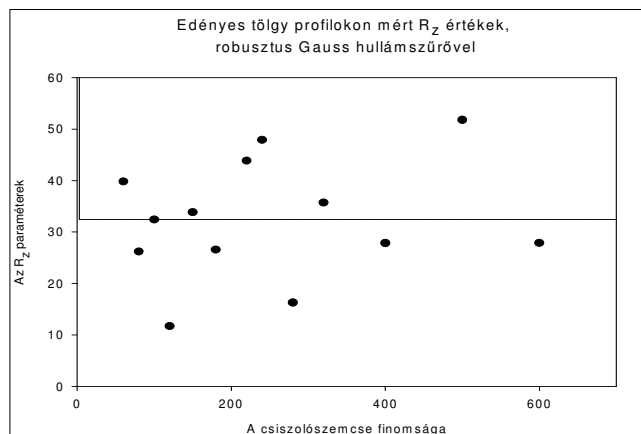
6.5.6. A vizsgálatok tapasztalatainak összefoglalása

A különböző nagyedényes fajok érdességének vizsgálata rámutatott arra, hogy a megmunkálás minőségét lehetetlen értékelni a nagy-, átvágott edények jelenléte miatt.



95.ábra

nyektől mentes bükkön a P_z illetve R_z értékek, és a csiszolószemcse finomsága között



96.ábra

A megmunkálási minőség objektív megítélése érdekében kidolgoztam egy eljárást az edények gyors, pontos kiszűrésére. Vizsgálva különböző nagyedényes fajok érdességi adatainak gyakorisági görbéit azt találtam, hogy a P és R profilok gyakorisági görbéin az átvágott edények gyakorisági adatai a negatív tartományban hosszan elnyúló láb formájában jelennek meg. (Ezt alátámasztandó a nagy edényektől mentes bükk mint kontroll minta, a negatív tartományba benyúló láb hiányával visszaautal a fajaj nagy edénytől mentes jellegére).

Az eljárás előnyei:

- objektív, gyorsabb, pontosabb, mint a meglévők
- bármilyen számú érdességi adatra működik
- független attól, hogy milyen módon vettük fel az érdességi adatokat
- a programmal nem szabványos paraméterek mérésére és kiértékelésére is lehetőség nyílik
- előnyös oldalát akkor tapasztalhatjuk meg, ha nagyon hosszú a mért érdességi profil

Az eljárás hátránya:

A kapott eredményt tovább rontja a hullámosság leválasztása céljából alkalmazott hagyományos Gauss szűrő használata, amely az edényszélek nagymértékű feltüremkedését okozza (akár $20\ \mu\text{m}$). A választott fajokból vett mintadarabok felületét különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszoltam meg, mert így mutatható ki legnyilvánvalóbban, a megmunkálás és az érdesség között fennálló összefüggés. Nagy edé-

$y = y_o + \frac{a}{x^n}$ alakú hiperbolikus összefüggést mutattam ki. Ezzel szemben a nagy átvágott edényeket tartalmazó tölgy mintáknál sem az R_z sem a P_z értékek nem korreláltak a csiszolószemcse finomságával (95-96. ábra). Az ábrán a pontok között egy vízszintes egyenes jelzi, hogy az $y = y_o + \frac{a}{x^n}$ alakú hiperbola a pontokra nem illeszthető (Sigma Plot).

- nem tud különbséget tenni az edények és a felületi sérülések között, ezért minősítésnél külön lépésben kell ellenőrizni, hogy nem sérült-e a felület.

Az eljárást a tapintócsúcsos érdességmérő rövid mérési úthosszával, hosszú mérési idejével szűkebb korlátok közé szorítja, mint amire a módszer képes.

Egyparaméteres minősítő jellemzőt keresve vizsgáltam a P_z , W_z és P_z/R_z paramétereket, valamint ezek egymáshoz való viszonyát. Az edényszűrés után mind P_z mind R_z értékei $y = y_0 + \frac{a}{x^n}$ hiperbolikus összefüggés szerint változnak a csiszolászemcse finomságával. Ily módon az edények szűrésével előállt a várt korreláció a P_z , R_z értékek és a csiszolászemcse finomsága között. A vizsgált mintákon a P_z érdesség határa 5 μm körüli, R_z várható határértéke 3-4 μm .

A P_z/R_z viszonyt alapul véve, a kiemelten vizsgált akác mintákon összehasonlító vizsgálatokat végeztem kézi csiszológéppel és papucsos kontakt csiszológéppel kialakított felületek érdességének jellemzésére. A P/R viszonyban az 5%-os eltérés a két munkálásra jellemző határérték. Az edények kiszűrése után felvett P_z/R_z hányados a profil hullámosságára enged következtetni, de nem ad információt arról, hogy ez a hullámosság milyen felületi érdesség mellett áll elő. Elméletileg eltérő érdességű profilokhoz is tartozhat azonos P/R viszony. Ahhoz hogy további információt kapjunk a hullámosság és a P/R hányados viszonyáról, felvettem a hullámok W_z paramétereit.

A $(P_z/R_z; W_z)$ értékpárokra az $y = I + a \cdot x$ egyenletű egyenesek illeszkednek. A P/R viszony 1-nél kisebb számokra nem értelmezhető, ezért az egyenes balról (0;1)-el korlátos. Növekvő hullámosság lineárisan növekvő P/R viszonyt eredményezett a vizsgált fajok mindegyike esetében.

Az elsődleges profil P_z paraméterének jelentéstartalmát további ellenőrzésnek vettem alá, azért, hogy kimutassam, mekkora különbségek vannak a mért illetve - az érdességi R_z és hullámossági W_z paraméterek összegeként – számított P_z' értékek között ($P_z' = R_z + W_z$). A $(P_z'/R_z; W_z)$ értékpárokra $y = I + a \cdot x$ egyenletű egyenesek illeszkednek, a különbség az 1 μm körüli értéket a hullámosság 10-12 μm körüli értékénél éri el. A különbség a P_z , R_z és W_z paraméterek definíciójából adódik, ti., hogy a P_z , R_z és W_z értékeket öt alaphosszon mért P_{zi} , R_{zi} és W_{zi} értékek ($i=1-5$) átlagából számítjuk. Ennek következtében növekvő hullám mellett egyre nő annak az esélye, hogy az alaphosszokon belül R_z -nek olyan csúcserőke fordul elő, amely hullám leszálló vagy felszálló ágán helyezkedik el és ezért az adott alaphosszon P_{zi} értékében nem jelenik meg. Ha az alaphosszak számát nem öt-, hanem több szakaszban állapítjuk meg a mért és számolt értékek egyezése javul.

Egyparaméteres minősítő jellemzőt keresve, vizsgálva a P_z , R_z , W_z paramétereket azt tapasztaltam, hogy nincs olyan minősítésre alkalmas jellemző, amely önmagában teljes körűen jellemezné a profil állapotát. Javaslatot tettem arra, hogy az érdesség megadása két paraméterrel: $(P_z/R_z; R_z)$ történjék. Az R_z paraméter mellett, mely megmondja, hogy milyen érdes a kialakított felület, a P/R kiváló paraméter, mert érzékletesen fejezi ki, hogy a felület - hullámosodása által - mennyivel tér el az R profiltól és ugyanakkor a felületen a ténylegesen fennálló állapotokat is kifejezi a jelenlévő P_z paraméter által.

6.6. Kitekintés

A különböző felületek érdességének mérése terén a faipar nem tölt be vezető szerepet, hiszen a jelentős fejlesztések elsősorban olyan területeken jelennek meg, ahol súrlódó felületek mikro- és makro-geometriai jellemzőit kell pontosan ismerni, mint a fémipar vagy egy újabb fontos terület, a humángyógyászat. Amint a korábbi évek tapasztalata is mutatja, a faipar a fémipar fejlesztéseit veszi át használatra. Amikor kitekintünk, azt kell felmárnunk, hogy hol tartunk, eredményeinkkel hová jutottunk el, elsősorban egy rokon terület, a fémipari eredményeit szem előtt tartva. Thomas, T.R. 1998-ban az érdességmérés eredményeiről szólva a következőket emelte ki: „a mérés technikát, a korlátozott mérési eljárásokat, a szoftverhátteret komolyan fejleszteni kell annak érdekében, hogy minél hamarabb megvalósulhasson a felületek folyamatközi 3D mérése és kiértékelése.” Azóta a fémiparban nagy előrelépések történtek a három dimenziós mérés irányában, de mindeközben a faiparban még a 2D kapcsán is olyan problémák állnak fenn, amelyek megoldása nélkül nem lehet továbblépni.

Úgy gondolom, hogy a faipari méréseknek is csak egyetlen végső célja lehet, az érdesség munkafolyamat közbeni mérése és kiértékelése, folyamatos ellenőrzés érdekében. Mérés technikai hiányosságok miatt ezt a célt a dolgozat nem tudja megvalósítani, de abban a reményben bocsátom vitára, hogy részleteiben hozzájárul, egy lépéssel közelebb visz a fent megnevezett cél eléréséhez, kitérve az értékelhető fafajok körét, az itt megvalósuló objektív mérési módszer által.

A jövőbeni munkának elsősorban a különböző megmunkálási eljárásokhoz és módokhoz kapcsolódó, minősítő jellemzők összeállítására kell koncentrálnia. Az érdességi paraméterek meghatározása után, a PN-84-es lengyel szabvány mintájára, olyan faipari szabvány összeállítása a cél, amely mint minőségi előírást, közli az egyes megmunkálási eljárásokhoz kapcsolódóan, az érdesség elvárt értékét. Ehhez a továbbiakban a már elvégzettekhez hasonló, széleskörű üzemi méréseket szükséges kivitelezni és kiértékelni.

A vizsgálatok kiszélesítése érdekében célszerűnek látszik olyan nemzetközi konferencia összehívása, amelyen a témában érintett kutatók vesznek részt, az ismeretek szintetizálása céljából.

7. Tézisek

1. Kidolgoztam egy eljárást az edények megjelölésére és kiszűrésére, annak érdekében, hogy az edények gyakorisági görbe alapján történő azonosítása után, azok az alapszövetet jellemző hullám értékéig legyenek eltávolíthatók. Az eljárás független attól, hogy az adatokat milyen mérőműszerrel és milyen mért hosszon vettük fel, gyors kiértékelésre való alkalmassága főként a hosszú mérési szakaszok esetén mutatkozik meg. Az eljárással lehetővé válik a nagyedényes fajok megmunkálási érdekességének objektív mérése és kiértékelése.
2. A gyors, objektív minősítést, mint szempontot szem előtt tartva, tovább vizsgáltam a P profilt. Javaslatot tettem arra, hogy az edények kiszűrése után a fennmaradó adatokra, még a P profilnál, új regressziós egyenest kell megállapítani, mert csak az új regressziós egyenes felvételével számolt érdekességi értékek egyenértékűek egy nagyedénytől mentes, de az alapszövetet jellemző profil érdekességi értékeivel. A kiszűrt edények helyén az eredeti adatok számát nem célszerű megtartani és a szűrt edények széleit össze kell vonni. Az R_z mintájára bevezetett P_z paraméterrel képzett P_z/R_z hányadost a hullámosság W_z értékeinek függvényében vizsgálva, lineáris összefüggést állapítottam meg. A pontpárok az $y = I + a \cdot x$ egyenesre jól illeszkednek. Az egyenes meredeksége „a” vizsgálataim alapján század μm nagyságrendű és az alapszövetet alkotó elemek jellemzőitől ily módon fajtától is függ.
3. Azonos R_z értékhez különböző mikrogeometriájú felületek tartozhatnak, ezért a szabványosan használt R_z egyparaméteres jellemző nem írja le teljesen a felületi profil milyenségét. Vizsgálva a P_z , R_z , W_z paramétereket azt tapasztaltam, hogy nincs olyan minősítésre alkalmas, egyparaméteres jellemző, amely önmagában teljesen jellemezné a profil állapotát. Javaslatot tettem arra, hogy az érdekesség megadása két paraméterrel: $(P_z/R_z; R_z)$ történjék.
4. A paraméterek kiértékelési módjából következik, hogy a mérési szakasz felosztását finomítva a P_z értéke a $P_z' = R_z + W_z$ értékhez tart. A mért P_z és számolt P_z' értékek közötti különbséget a W_z hullámérték függvényében vizsgálva kimutattam, hogy a növekvő hullámparaméter, növekvő különbséget okoz, az összefüggés lineáris: $y = I + a \cdot x$ szerint. A felület jellemzése javul, ha az alaphosszak számát nem öt-, hanem több szakaszban állapítjuk meg.
5. A kidolgozott edényszűrési eljárással akácon, tölgyön, kőrísen és nyíren, négy nagyedényes fajon, $y = y_0 + \frac{a}{x^n}$ alakú hiperbolikus összefüggést mutattam ki a nagyedényes fajok alapszöveti érdekessége és a csiszolószemcse finomsága között mind P, mind R profilokon. P profilok esetében a csiszoló szemcse finomságának minden határon túli növelésével a különböző fajokon az érdekesség 5,1 és 6,3 μm között adódik, ezzel szemben az R profilok esetében a határérték 3,3 és 5 μm közötti. Ezek az értékek az adott faj un. „anatómiai” érdekességére adhatnak felvilágosítást. Attól mérés-technikai okokból térnek el, amennyiben a tapintótűs érdekességmérővel nyert jellemzőink csak közelítik a kialakult valóságos profil jellemzőit.

Irodalomjegyzék

Babos, K. – Filló, Z. – Somkuti, E. (1979): Haszonfák, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979

Bonac, T. (1979): Wood roughness volume and depth estimated from pneumatic surface measurements, Wood Science, IV/1979, pg.: 227-232

Brigit, A. - Östmann L. (1983): Surface roughness of wood – based panels after aging, Forest Products Journal july-august/1983, pg.:35-42

Chia Ming Chen (1972): Measuring the wetting of wood surfaces by adhesives, Mokuzai Gakkai, Vol. 18, 9/1972, pp. 451-456

Cieloszyk, J. – Sobkowiak, E. (1999): Badania wpływu filtrów na warosci mierzonych parametrow chropowatosci i falistosci powierzchni frezowanych, VIII Konferencja Naukowo – Techniczna. Szczecin 1999

Dengler, R. (1998): Wirtschaftliche Fertigung mit Hochleistungslinien, HOB 7-8/1998, s.: 44-47

Deppe, H. J. – Schmidt, K. (1996): Oberflächenqualität von beschichteten Holzwerkstoffen, HK 11/1996, s.: 66-68

Faust, T. D. – Rice, J. T. (1986): Effects of veneer surface roughness on gluebond quality in southern pine plywood, Forest Products Journal, apr./1986, pg.: 57-62

Fuchs, I. - Devantier, B. - Emmeler, R. - Sandig, C. – Weinert, M. (1997): Kriterium Rauheit, HK 10/1997, s: 56-58

Fujiwara, Y. - Fuji, Y. – Okumura, S. (2003): Effect of removal of deep valleys on the evaluation of machined surfaces of wood, Forest Products Journal, febr. 2003, pg.: 58-62

Gurau, L. - Williams, H. M. – Irle, M. (2002): An analysis of wood surface roughness data, Conference Paper, 2002

Hecker, M. – Seeling, U. (1994): Beschreibung von Gestaltabweichungen bei Holzoberflächen, Holz-Zentralblatt, 1994.08.12. nr.96. Teil 1-2.

Heisel, U. – Fischer, A. (1992): Bessere Oberflächenqualität durch Optimierung des dynamischen Maschinenverhaltens, HOB 4/1992, s.:16-20

Heisel, U. - Fischer, A. – Mayer, W. (1992): Beurteilung von Oberflächen durch Prozesssimulation, HOB 5/1992, s.: 56-62

- Heisel, U. – Krondorfer, H. (1995): Messtechnik für Massivholzoberflächen, HOB 5/1995, s.:207-210
- Heisel, U. – Krondorfer, H. (1996): Oberflächenqualität beim Umfangsplanfräsen, HOB 7-8/1996, s.: 59-62
- Heisel, U. – Krondorfer, H. (1996): Oberflächenverfahren zur Schwingungsanalyse, HOB 9/1996, s.:85-90
- Heisel, U. – Krondorfer, H. (1996): Ursachen dynamisch bedigter Oberflächenfehler schneller erkennen, HOB 10/96, s.: 76-81
- Heisel, U. – Töger, J. (1991): Feinstbearbeitung durch Schleifen und Thermoglätten, HOB 9/91, s.: 41-44
- Heisel, U. – Tröger, J. (1993): Qualitativ hochwertige Oberflächen durch Stirnplanfräsen, HOB 5/1993, s.: 80-88
- Heisel, U. – Tröger, J. - Fischer, A. – Steinhoff, R. (1991): Berührungsloses Messverfahren zur Beurteilung der Struktur bearbeiteter Holzoberflächen, HOB 11/91, s.: 18-24
- Heisel, U. - Tröger, J. - Fronius, J. – Pittner, W. (2002): Processoptimierung für die Massivholzbearbeitung, Teil I-II, HOB 4/2002, s.: 62-65, HOB 6/2002, s.: 64-68
- Heisel, U. - Tröger, J. – Müllner, R. (1997): Optimierung des Stirnplanfräsverfahrens, HOB 4/97, s.: 95-99
- Heisel, U. – Walz, J. (1996): Statische und Dynamische Einflüsse der Maschine beeinflussen Oberflächenqualität, HOB 11/1996, s.: 56-65
- Hoffmeister, H.W. - Riegel, A. (1998): Oberflächenfinish mit Rotierenden Schleifmittelstreifen, Teil: I-II, HK 2/1998, s.: 80-83, HK 3/1998, s.: 46-48
- Hoffmeister, H.W. – Grübler, T. (1999): In-Prozessmessung der Messerschlagweite gehobelter Massivholzoberflächen, HOB 5/1999, s.: 200-204
- Hoffmeister, H.W. –Kisselbach, A. – Schadoffsky, O. (1997): Hochgeschwindigkeits – Profilfräsen, HOB 4/1997, s.: 88-94
- Kamdern, P. – Grelier, S. (2002): Surface roughness and color change of copper amine and UV absorber-Treated red maple exposed to artificial light, *Holzforschung* 2002/56, s: 473-478
- Kemény, S. (1998): Statisztikai minőség – (megfelelőség-) szabályozás, Műszaki Könyvkiadó – Magyar Minőség Társaság, 1998
- Kisselbach, A. – Schadoffsky, O. (1996): Gefräste Oberflächen als eingangsgröße für

die Schleifbearbeitung und den Lackauftrag, Ein Seminar für Holz und Möbelindustrie, Bielefeld, 1996, s.: 3.2-3.15

Kozák, A. (1990): A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása, EFE Egyetemi jegyzet,

Krisch, J. – Csiha, Cs. (2000): Analysing wood surface roughness – using an S3P Perthometer and computer based data processing, Badania dla meblarstwa XIII, Poznan, pp. 145-155, 2000

Krisch, J. – Csiha, Cs. (2000): Vessel filtration – a method for analysing wood surface roughness of large porous species, Drevarsky Vyskum 45(1): 13-22, 2000

Lin, Y. - Johnson, G. C. – Beall, F. (2000): A new approach of surface roughness measurement using Air-coupled ultrasound, ICWS Sopron, 2000, pg.: 23-32

Liptaková, E. - Kudelá, J. - Molnár-Posch, P. (1994): Bewertung der Oberflächengeometrie des Holzes nach verschiedenen bearbeitungsarten, Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények, 1994-95/40-41. évf. 193-203. oldal

Lundberg, A. – Porankiewicz, B. (1995): Studies of non-contact measurements on wood surfaces, Holz als Roh- und Werkstoff, 53/1995, s.: 309-314

Magoss, E. (2000): Természetes faanyag anatómiai felépítésének hatása a felületi minőségre marási művelet esetén, Doktori (Ph.D) értekezés, NyME, Sopron, 2000

Magoss, E. – Sitkei, G. (2000): Influence of wood structure on the surface roughness at milling operations, Proceedings of the fourth ICWSF, Sopron, 2000

Masayuki Komatsu (1983): Liquid jet machining of wood, IV, Mokuzai Gakkai, Vol. 29, 11/1983, pp. 750-755

Molnár, S. (1999): Faanyagismeret, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1999

Molnárné Posch, P. – Kovács, G. (1980): Mérési módszerek kidolgozása az alkalmazott és alkalmazható felületkezelési rendszerek összehasonlító vizsgálatai számára, Kutatási zárójelentés, Sopron, 1980, p: 1-22

Molnár-Posch, P. (1981): Bútor-, ajtó-, ablakgyártásban II. (Felületkezelés), Egyetemi jegyzet, Sopron, 1981

Molnár-Posch, P. (1984): Faanyagok felületkezelése és borítása, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1984

Molnár-Posch, P. (1996): Felületkezelés a faiparban, Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 1996

- Mothe, F. (1985): Essai et comparaison de trois méthodes de classement de surface de bois massif pour leur rugosité: méthodes pneumatique et sensorielle, *Ann.Sci.For.* 1985,42(4), p: 435-452
- Palásti, K. B. (1983): Forgácsolással megmunkált felületek mikrogeometriájának értékelése, Kandidátusi értekezés, Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola, Budapest, 1983
- Pohl, P. (2000): Effect of the angle of the gauging tip of profilographometre on values of surface roughness parameters, *ICWSF*, Sopron, 2000
- Riegel, A. (1996): Optimierung des Lackzwischenchliffs durch Sensoriensatz im Betrieb, Ein Seminar für Holz und Möbelindustrie, Bielefeld, 1996, s.: 8.1-8.12
- Sander, M. (1991): A practical guide to the assesment of surfacet texture, *Feinprüf GmbH* 1991, Göttingen
- Schadoffsky, O. (1996): Objective Verfahren zur beurteilung der Oberflächenqualitäten, Ein Seminar für Holz und Möbelindustrie, Bielefeld, 1996, s.: 2.1-2.15
- Shadoh, T. - Takeuchi, M. – Nakato, K. (1983): Relationships between sensory and physical evaluations of wood surface roughness, *Mokuzai Gakkaisi*, Vol. 29, 11/1983, pp. 138-144
- Sitkei, Gy. (1994): A faipari műveletek elmélete, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft.*, Budapest, 1994,
- Stout, K. J. (2000): Developement of methods for the caracterisation of roughness in three dimensions, *Penton Press*, West Sussex, 2000
- Suzuki, R. (1985): The measurement of roughness of cut surface by drop of water, *Mokuzai Gakkaisi*, Vol. 4, 4/1958, pp. 156-161
- Thomas, T. R. (1998): Trends in surface roughness, *Int. J. mach. Tools. Manufact.* Vol 38, Nos: 5-6, pp. 405-411, 1998
- Tomasik, J. – Rudzinsky, R. (1999): Badania charakterystyk filtrow cyfrowych oferowanych w programie Talyprofile, VIII Konferencja Naukowo – Techniczna. *Szczecin* 1999
- Trumpold, H. – Heldt, E. (1998): Why filtering surface profiles? *Int. J. mach. Tools. Manufact.* Vol 38, Nos: 5-6, pp. 639-646, 1998
- Welland, G. (1998): Faserloses Oberflächenfinish, *HK* 6/1998, s.: 48-50
- Westkämper, E. – Riegel, A. (1992): Rauheitsmessungen an Holzoberflächen, *Holz als Roh- und Werkstoff* 50/1992, s.: 475-478
- Westkämper, E. – Riegel, A. (1993): Qualitätskriterien für feingehobelte Holz-

oberflächen, Holz als Roh-und Werkstoff, 51/1993, s.: 27-30

Westkämper, E. – Riegel, A. - Kisselbach, A. - Schadoffsky O. (1997): Gefügeschädigungen als Standzeitkriterium, Teil I-II-III, HK 9/1997, s.: 47-49, HK 10/1997, s.: 43-45, HK 11/1997, s.: 80-82

Westkämper, E. – Riegel, A. – Dreyer, K. P. (1992): Systematisches Vorgehen bei der Entwicklung von Prüftechniken am Beispiel der Rauheitsmessung, HOB 10/92, s.:52-54

Westkämper, E. – Riegel, A. (1993): Qualitätskriterien für geschliffene Massivholzoberflächen, Holz als Roh - und Werkstoff 1993/51, s.:121-125

Westkämper, E. – Fuss, M. (1996): Wirkztusammenhänge beim Hochgeschwindigkeitsfräsen, HOB 11/96, s.: 66-71

Westkämper, E. – Schadoffsky, O. (1995): Oberflächentopographie von Massivholz, Teil 1-2 HOB3/95, s: 74-78, HOB 4-95, s: 50-54

Westkämper, E. – Niemi P. – Sachers, M. (1996): Längs und quer zur Faser, HOB 1-2/1996, s.: 82-86

Wieloch, G. (1999): Stability of wooden surface put on compression rolling after moisture changes, Proceedings IWMS 14-12 sept. 1999, pg.: 827-832

Williams, R. S. – Feist, W. C. (1994): Effect of preweathering, surface roughness, and wood species on the performance of paint and stains, Journal of Coatings Technology, jan./1994, pp. 109-121

Yasuda, A. - Sadoh, T. – Nakato, K. (1983): Visual and tactile roughness of hardwood surfaces relating to physical roughness, Mokuzai Gakkaisi, Vol. 29, 11/1983, pp. 731-737

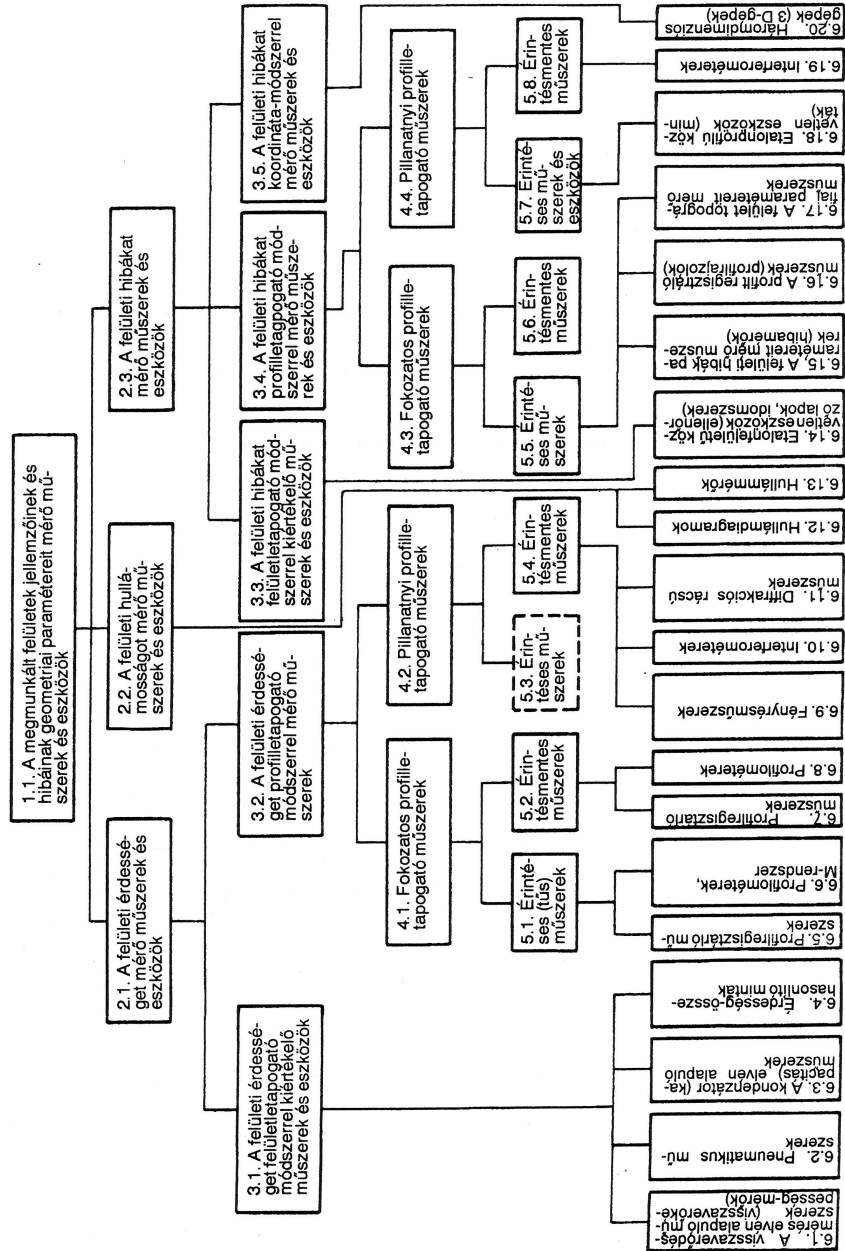
Zombori, I. (1987): Keretfűrészlap élkiképzésének hatása a fűrészelt felületre, Egyetemi Doktori értekezés, Sopron, 1987

8. Mellékletek

1. számú melléklet

MSZ ISO 1878:1993

Osztályozási rendszer



2. számú melléklet

PN 84-es lengyel szabvány, 3. táblázata

3. számú melléklet

A különböző szemcsefinomsággal csiszolt akác, tölgy, kőris, nyír, fafajok érdességi profilja az edényszűrés előtt és után, a bükk mintával.

4. számú melléklet

Az akác, tölgy, kóris, nyír és bükk minták „ P_z ”, R_z , és P_z/R_z értékei.

5.számú melléklet

Mérések a Mahr-nál.

9. Köszönetnyilvánítás