

UDK: 674:620.179.11

UGOTAVLJANJE NERAVNOSTI MEHANSKO OBDELANIH POVRŠIN LESA -
KRITIČEN PREGLED METOD

Tomo BONAČ

Sinopsis

Podana je terminologija in opisane so značilnosti lesnih površin. Štiri osnovne metode (svetlobna, pastni test, kapljična, tipalna) so obravnavane glede na možnost razvoja v splošen standard. Pri tipalni metodi je bila posebna pozornost posvečena določanju minimalnega radija tipala. Izveden je bil poizkus ugotavljanja plastičnih in elastičnih deformacij površin štirih vrst lesa med obremenitvijo 2 p s tipalom radija 35 μm (do sedaj se je uporabljal minimalni radij 60 μm); ugotovljena je bila možnost povečanja natančnosti zapisa površine. Kljub temu pa ima vsaka izmed metod kritično pomanjkljivost, zaradi katere se ne more razviti v splošen standard. Zato bi bila potrebna nova osnovna metoda.

ASSESSMENT OF CUT WOOD-SURFACE IRREGULARITIES - A CRITICAL
EVALUATION OF METHODS

Tomo BONAČ

Synopsis

Terminology is presented and wood surface characteristics are described. Four basic methods (light-sectioning, paste test, water drop, stylus-tracing) are discussed as possible generally used standard methods. Special effort was dedicated to stylus' minimal radius determination (stylus-tracing method). Plastic as well as elastic surface deformations of four wood species were microscopically examined as surface was loaded with stylus (radius 35 μm , force 2 p); other papers have reported 60 μm minimal stylus radius. It was established that it is possible to improve the accuracy of surface profile recording. However, each of the four methods has its critical impediment due to which they cannot be developed into a generally used standard. Therefore a basically new method is needed.

Avtorjev naslov:

**Tomo BONAČ, dipl.inž.
Biotehniška fakulteta v Ljubljani
61000 Ljubljana, Krekov trg 1**

**Razprava je del raziskovalne naloge št. 404/979-73, ki jo je financiral
Sklad Borisa Kidriča.**

DEFINICIJE POJMOV

Efektivna površina: predstava realne površine, dobljena s pomočjo instrumenta.

Efektivni profil: kontura preseka efektivne površine z neko ravnino.

Hrapavost: geometrijsko stanje površine, pri kateri so širine dolin majhen mnogo-kratnik globine dolin.

Konfiguracija površine: topografija meje med substanco in njeno okolico (običajno zrak).

Kot iveri (γ): kot med čelno ploskvijo rezila in pravokotnico na ravnino rezanja.

Obdelovalna ravnina: namišljena ravnina, ki vključuje smer rezanja in smer podajanja.

Tolčenje iveri (Chip bruising): napaka pri skoblanju lesa, ki jo povzročajo iveri, ki jih nosi rob rezila in vtisnejo v površino vrsto plitkih vgreznin.

Neravnosti: vrhovi in doline realne površine.

Privzdignjena površina (Raised grain): skoblana površina, pri kateri je pozni les privzdignjen nad ostalo površino. (12)

Raztrgana površina (Torn grain): mehansko obdelana površina, na kateri so vlakna ali skupina vlaken razcefrana ali odtrgana pod obdelovalno ravnino zaradi delovanja rezila.

Realna površina: površina, ki omejuje telo in ga loči od okoliškega prostora (običajno zrak).

Realni profil: kontura preseka realne površine z neko ravnino.

Tlačno trganje: napaka pri rezanju furnirja. Zrušitev nastopi zaradi stiskanja lesa pred rezilom. Nastane pod obdelovalno ravnino.

Valovitost: geometrijsko stanje površine, pri kateri so širine dolin znaten mnogo-kratnik globine dolin.

Vlaknata površina (Fuzzy grain, Woolly grain): mehansko obdelana površina, na kateri so vlakna zaradi rezila privzdignjena in razcefrana, namesto da bi bila gladko odrezana.

Zalomljena površina (Chipped grain): mehansko obdelana površina, na kateri je zaradi delovanja rezila les odlomljen pod obdelovalno ravnino.

Zrahljana površina (Loosened grain): skoblana površina, na kateri se plasti pozne-
ga lesa odluščijo od površine ali pa k temu težijo (12).

S površinami prihajamo neprestano v dotik, zato imajo v splošnem mnogo večji vpliv na naše občutke kot znanje o vsebini. Problemi neravnosti površin tako že od srede tridesetih let pospešeno pritegujejo pozornost. Celotno razumevanje in ocenitev geometrijskega stanja površine lesa in lesnih materialov daje bistven tehnični podatek o sposobnosti premazovanja, o impregniranju in lepljenju ter o tolerancah, prilegih, končnem videzu, sijaju ter o dimenzijskih spremembah pod folijami. Na področju kovin je znanje o površinah še veliko pomembnejše, ker zajema tudi pojave, pri katerih površine med seboj drsijo (n.pr. obraba, mazanje itd.). Čeprav je področje ovrednotenja površin tudi pri kovinah relativno novo, pa je na razpolago vrsta zadovoljivih metod, merilni instrumenti pa so celo mednarodno standardizirani (ISO R 1878, R 1879, R 1880). Za merjenje površin lesa pa še ne obstaja nobena zares uporabna natančna metoda, kljub temu, da se je že mnogo raziskovalcev posvetilo temu problemu (preko 150 tehničnih člankov). Ta neuspeh je pripisati posebnostim materiala, vendar subjektivna presoja površin v pogojih moderne proizvodnje ne more več zadoščati. Precizni površinski standardi bi bili v pomoč nabavi, kontroli kvalitete in raziskovalnim oddelkom. Namen tega prispevka je ugotoviti, kakšne so možnosti že znanih metod in instrumentov za ugotavljanje neravnosti površin lesa in lesnih materialov za razvoj v standardno obliko.

1. POJAV IN ZNAČILNOSTI LESNIH POVRŠIN

Idealno gladke površine ni. Poddeljenje neravnin se lahko nadaljuje vedno do točke, kjer obstaja neka strukturna tekstura. Šele oddaljenost v strukturni mreži kristalov tvori pri 10^{-7} mm naravno mejo, pod katero ne moremo v normalnem smislu več govoriti o površinah. Tehnično gladka površina je definirana kot prerez v ravnini skozi material. Pri lesu se površine, ki so pripravljene na mikrotomu, približujejo tej definiciji, čeprav nepravilnosti površine ostanejo (celični lumni).

Konfiguracija mehansko obdelane površine lesa ne kaže samo specifične karakteristike delovnega procesa, pri katerem površina nastane, t.j. ni samo rezultat pravičnega delovanja orodja in nepravilnosti delovanja stroja, ampak je tudi rezultat anatomske strukture in "delovanja lesa" (17). Nemški standard DIN št. 4760 "Oblike razredov" predstavlja sistem, v katerega je mogoče vključiti vse naštetе vplive (1). Po tem standardu, ki je prirejen za kovinsko področje, je določena vrsta in ne velikost posameznih razredov neravnosti. 1. razred predstavlja napako oblike obdelovanca, 2. razred valovitosti in 3. do 5. razred hrapavost površine obdelovanca. 6. razred zajema neravnosti zaradi zgradbe mreže snovi.

Zaradi posebnosti lesnega materiala sta PAHLITZSCH in DZIOBEK (20) predlagala nekoliko drugačno poimenovanje razredov neravnosti (tabela I). Šesti razred je zaradi nepomembnosti izločen, ker velikostno pade v območje mrežnih razdalj snovi in s tem pod konfiguracijo, ki velja pri površinah lesa za idealno gladko. Nadalje je pri lesnih površinah smotno posamezne razrede neravnosti velikostno omejiti. Neravnosti iste vrste lahko namreč nastopajo v zelo različnih velikostih. Tako so lahko neravnine v konfiguraciji površine zaradi anatomske strukture enako velike,

če ne večje kot neravnine zaradi mehanske obdelave. V tabeli I so razredi velikostno omejeni s širinami dolin neravnin.

Tabela I

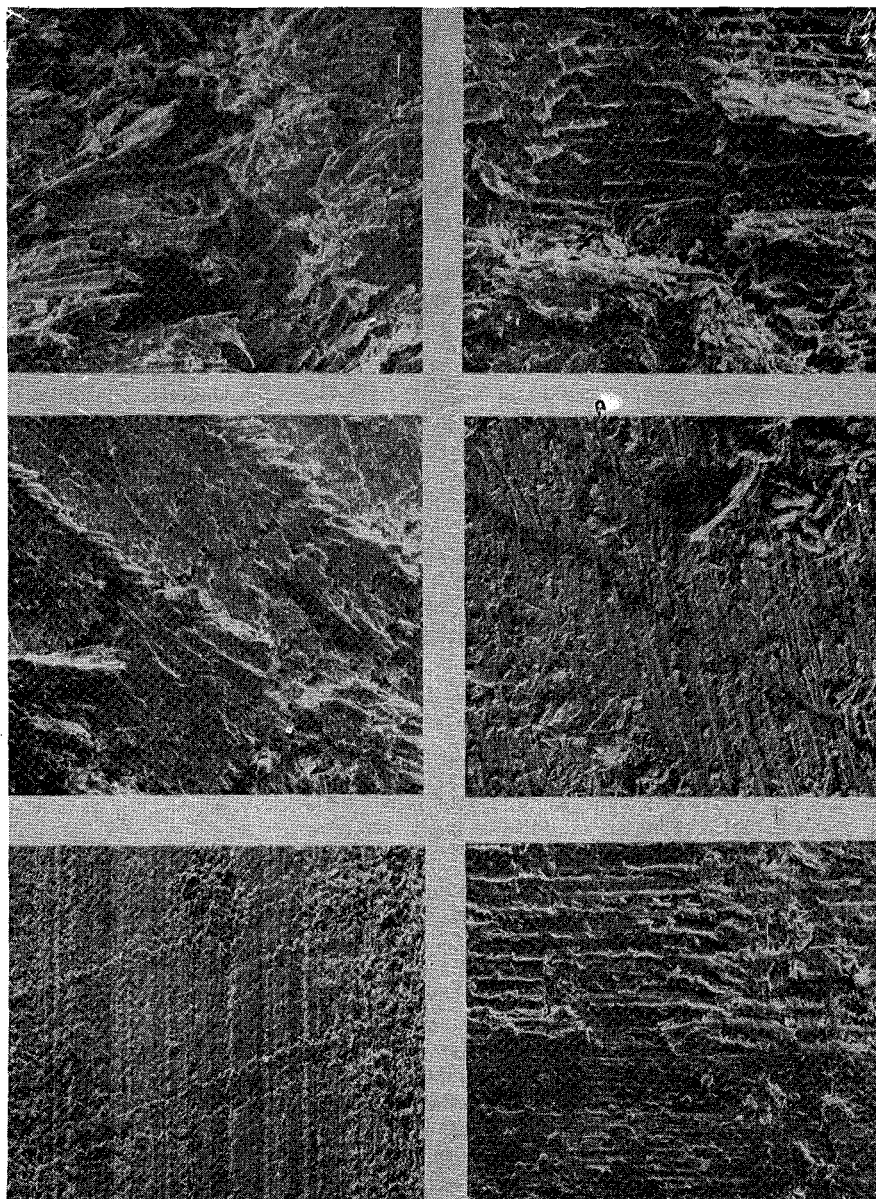
razred	vrsta neravnosti	primeri tipa neravnin	širina dolin (mm)
1	napaka oblike	krivost, neokroglost	50
2	valovitost	veliki valovi	5
3	hrapavost	majhni valovi	0,5
4	vlaknatost	sledi brušenja, pore, gube laka	0,05
5	poroznost	struktura laka, najfinejše pore	0,05

Les s svojo vlaknato strukturo, raznoliko celično razporeditvijo, dimenzijsko občutljivostjo na vlago, heterogenostjo in kemičnimi lastnostmi postavlja čisto drugačne pogoje prodiranju rezila kot skoraj homogene in izotropne kovine kristalinske strukture (5, 17). Mehanizma mehanskega odrezavanja kovin in lesa se zato bistveno razlikujeta. Pri kovinah nastaja nova površina kot posledica združitve zaradi striženja in natezanja kristalov v strižni ravnini, ki poteka poševno od roba rezila proti površini obdelovanca. Les pa se lahko samo pri elementarnem pravokotnem rezanju z ostrim rezilom zruši na šest različnih osnovnih načinov, od katerih se da samo eden primerjati z zrušitvijo kovine. Nova površina lesa nastane namreč tudi zaradi prekoračenja cepilne, tlačne in natezne trdnosti. Pri tem se zrušitve pogosto lahko širijo tudi pod obdelovalno ravnino.

Posledica razlik v mehanizmu rezanja se kaže v drugačni konfiguraciji nastale površine. Površina kovine, ki je obdelana z odrezavanjem, lahko kaže po DIN 4761 naslednje neravnosti (2):

- brazde - prisiljeno povzročene sledi zaradi poti orodja
- žlebiči - slučajne, grabnasto oblikovane sledi obdelave
- igloji - zaradi delovnega procesa ali pa s poškodbo povzročena ostra zvišanja površine
- pokline - mestoma omejena ločitev strukture materiala majhne širine toda pogosto znatne dolžine in globine
- raze - slučajne žlebasto poškodbe
- kotanje - skledaste poškodbe

Pri obdelavi lesa se pogosto pojavljajo napake, ki vplivajo na stanje površine. Pri rezanju proti rasti in v okolici grč se pojavlja zalomljena površina. Vlaknato površino pa običajno povzroči topi rob rezila ali pa prisotnost tenzijskega lesa. Obrabljenost rezila je lahko, poleg napačnih pogojev obdelave, vzrok za nastanek raztrgane površine. Pri skoblanju lesa je običajna napaka tolčenje iveri, ki pa lahko nastopi tudi pri ostrem rezilu. Pri rezanju furnirja je zelo značilna napaka obdelave tlačno trganje, ki se pojavi zaradi premajhnih kotov rezanja, velikih debelin furnirja in toposti roba rezila. Pri skoblanju preveč vlažnega lesa (več kot 12%) se rani les stisne, če je pod poznim lesom, ter s tem po spremembi vlažnosti povzroči privzdignjeno površino. Če se krčenje in nabrekanje lesa ponavlja, plasti poznega lesa celo težijo k ločenju od površine. To napako, ki se imenuje zrahljana površina, lahko povzročijo tudi preveliki pritiski pri brušenju ali skoblanju lesa.



Slika 1.

Posnetki obdelanih površin bora (Southern Pine) z rasterskim elektronskim mikroskopskom (50 x). Od zgoraj navzdol so površine obdelane s tračno žago, krožno žago in brušene. Levo: obdelava prečno na vlakna, desno: vzdolž vlaken (fotografija iz FOREST PRODUCTS JOURNAL).

Lesna površina ne kaže samo sledi orodja, razpoke, in slučajne poškodbe zaradi nakapk, ampak ima še to posebnost, da na njej vedno nastopajo poškodbe celične zgradbe (slika 1). Grobe obdelave lesa kot n.pr. žaganje na jermeniku, tračni žagi ali krožni žagi povzročajo težke poškodbe lesnih vlaken. Na taki površini je mogoče opaziti deloma ali popolnoma iztrgane celice, ki so zmečkane in močno deformirane (29). Včasih se iztrga kar cel snop celic, ki je lahko celo več mm dolg. Snop lahko vsebuje mnogo celic, ki so običajno ločene vzdolž celičnih sten. Celo pri površini, obdelani z brušenjem je opaziti lasaste, iztrgane dele celičnih sten. Pri finejših obdelavah lesa (skoblanje, rezkanje) sicer ni več opaziti iztrganih delov, vendar so robovi celičnih sten še vedno deformirani. Še najboljše stanje kaže površina, obdelana z ročnim skobeljnikom.

2. PREGLED OBSTOJEČE METODOLOGIJE UGOTAVLJANJA NERAVNOSTI POVRŠIN

Kakšne metode so uporabljali različni avtorji pri ugotavljanju neravnosti površin lesa, kaže tabela II.

Tabela II

avtor	metoda	radij konice tipala	pritisk tipala
Lutz, 1952	svetlobni odboj		
Forster aparat, 1952	tipalo	50-60 μm	0,3-2 p
Talysurf inštrument (Taylor-Hobson), 1952	tipalo	štiristranska piramida 90°, širina konice 2,5 μm	0,1-? p
Flemming, 1957	pastni test	-	-
Hann, 1957	tipalo	3175 μm	?
Kikata, 1958	tipalo	310 μm , 540 μm	65,20 p
Suzuki, 1958	kapljica vode	-	-
Rinkefeil, 1962	tipalo	25 μm , 450 μm	1+0,2 p
Maxey, 1964	tipalo	25,4 μm , 112 μm	5-10 p
Peters-Mergen, 1971	tipalo	25,4 μm , 198,5 μm	?

Za ugotavljanje neravnosti površine lesa so torej na razpolago štirje osnovni načini: svetlobni odboj, pastni test, kapljčna metoda in tipalo.

2.1. Metoda svetlobnega odboja

Aparati, ki izkoriščajo za meritev svetlobni odboj, so lahko takšne vrste, da projicirajo na površino tanko senco ali pa pošiljajo tanek trak svetlobnih žarkov. Prvega so razvili v Forest Products Laboratory predvsem za merjenje površinske neravnosti iverk (7, 8). Ostre sence se pri tem instrumentu projicirajo na površino tako, da se na dve napeti žici debeline 0,6 mm, ki sta 25 mm narazen, pod kotom usmeri ploščat snop močne svetlobe. Odmiki senc, če jih gledamo v smeri pravokotno na površino, kažejo povečano sliko vertikalnih neravnin. Povečava je

odvisna od vpadnega kota žarkov. Neravnine je mogoče izmeriti na fotografskem posnetku tako osvetljene površine, na katero je položeno merilo. Instrumenti te vrste se uporabljajo predvsem tam, kjer so neravnine tako velike, da ni potrebna horizontalna povečava.

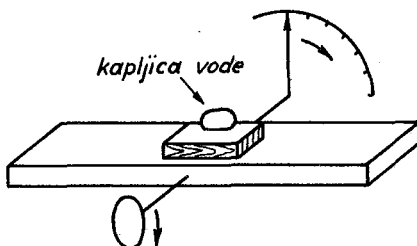
Aparat, ki deluje po metodi svetlobnega traku, je izpopolnjen že do komercialne oblike. Pripomoček je podoben mikroskopu in ga je zasnoval prof. Schmaltz. Se-stoji v bistvu iz dveh mikroskopov, projekcijskega in okularnega, ki sta postavljena tako, da njuni osi ležita v ravnini, ki je pravokotna na površino, ki jo preiskujemo. Projekcijski mikroskop meče senco ravne linije na površino pod kotom 45° . Skozi okularni mikroskop, ki je nameščen pod enakim kotom, pa je mogoče opazovati odmike od ravne linije zaradi neravnosti površine. Mikroskop poveča 60 do 520 krat in ker je kot projekcije 45° , skoraj enaka povečava zajame razdalje vzdolž in pravokotno na površino. Pri največji povečavi je n.pr. mogoče zato opazovati samo 0,3 mm dolžine površine. Neravnost površin se po tej metodi navadno izraža z $R_{\max}$ profila (glej sliko 3a).

2.2. Pastni test

Pastni test po Flemmingu izkorišča za meritev prostor med realno površino preizkušanca in "idealno površino" (18). Po tej metodi z injekcijsko brizgalko nanese-mo na površino, ki jo želimo meriti, določeno količino paste (n.pr. vodno raztopino natrijevega silikata) in nanjo položimo folijo, ki jo pritismo ob površino z gumijastim valjem. Iz obeh znanih podatkov, volumna paste in površino vtisnjene paste, lahko približno izračunamo R_u (glej sl. 3a).

2.3. Kaplična metoda

Kapljica kapljevine zdrsne z neke površine, če se ta zadosti nagne. Kot, pri katerem seto zgodi, se imenuje prekučni kot in ga je mogoče določati dokaj natančno z zelo preprosto pripravo (slika 2). Da površina lesa kapljevine ne bi vpila, jo je treba impregnirati s 5% koncentracijo silikona. Prekučni kot je po Suzukiju odvisen od $R_{\max}$ ter tudi celo od oblike površinskega profila in predstavlja zato številčno vrednost neravnosti površine (28).



Slika 2

Shema priprave za merjenje prekučnega kota

2.4. Metoda s tipalom

Tipalo je navadno stožčasta konica, ki je na vrhu krožno oblikovana ter se horizontalno premika po površini, tako da pri čim manjšem pritisku na površino vertikalno niha. Ti premiki se nato ustrezno povečajo in vodijo v registrator profila površine ali pa naravnost v elektronski analizator profila. Za povečavo, ki je večja v vertikalni smeri je na razpolago več možnosti. Lahko se doseže z mehanskim prenosom (10), ki pa izvaja velike pritiske na površino. Forsterjev aparat uporablja za povečavo sistem leč, ki povečajo snop žarkov, ki se odbijajo od zrcala, povezanega s tipalom. Profil se registrira s fotografiranjem. Ta sistem je nepotrebno kompliciran in poleg tega ne omogoča avtomatičnega ovrednotenja krivulj. Največjo skupino tipalnih naprav predstavljajo elektromehanični aparati, ki so lahko takšni, da ustvarjajo električni potencial ali pa takšni, da modulirajo nosilno napetost. Prvi imajo tipalo povezano z mehanizmom, ki ustvarja električni potencial v odvisnosti od gibanja tipala. Potencial je odvisen od hitrosti pomika in amplitude tipala. Na perfektno gladki površini tipalni mehanizem ne posreduje nobene napetosti. Pri modulacijskih napravah pa vertikalni položaj tipala, medtem ko se ta pomika po površini, mehansko modulira nosilno napetost instrumenta in nastane signal, ki se vodi v ojačevalec in registrator. Signal je torej (v določenih mejah) neodvisen od hitrosti pomika in zato je to ugodnejša varianta.

Najzahtevnejši del metode predstavlja ovrednotenje registriranih krivulj, ki so funkcije slučajev (slika 3a). Izčrпно se jih lahko opiše z dvema funkcijama verjetnosti: statistično distribucijsko funkcijo $f(x)$ (slika 3b) in avtokorelacijsko funkcijo $R_{xx}(\lambda)$, (slika 3c), ali njeno Fourierjevo transformacijo - energijskim spektrom $S_x(\omega)$ (slika 3d).

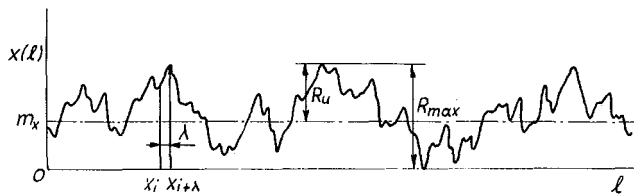
Za ovrednotenje profila so na razpolago parametri funkcije $f(x)$, ki se navadno uporabljajo v praksi: aritmetična sredina odklonov od m_x R_a (CLA, AA), standardni odklon σ_x (RMS, R_g) in razmak R_{max} .

$$R_a = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x) f(x) dx$$

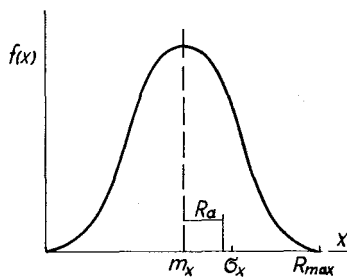
$$\sigma_x = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx}$$

$$R_{max} = x_{max} - x_{min}$$

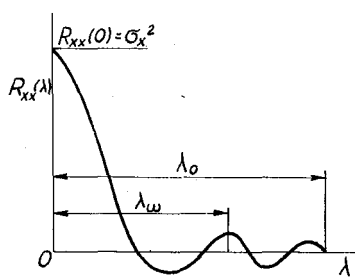
Ti parametri pa še ne dajo zadostne informacije o konfiguraciji površine. Dodatne informacije nudi oblika statistične distribucijske funkcije $f(x)$. Če je veliko majhnih ordinat, postane distribucija levo asimetrična in obratno. Vertikalno odmikanje od normalne distribucije pa pomeni večjo ali manjšo pogostost okoli srednje vrednosti distribucije m_x . Stopnji asimetričnosti in sploščenosti distribucije bi bili lahko izčrпni dodatni informaciji k R_a in σ_x , vendar problemi z instrumenti še zavirajo ekonomično rešitev. Vidimo, da vsi ti parametri ovrednotijo samo vertikalne lastnosti površine, zato v praksi zadoščajo samo v posebnih primerih, in sicer za primerjavo površin, ki so pripravljene na dani način in na določenem materialu. Pri razvrščanju ordinat, ki ne upošteva vrstnega reda, ampak samo vertikalnost, se namreč izgubijo lastnosti profila v abscisni smeri.



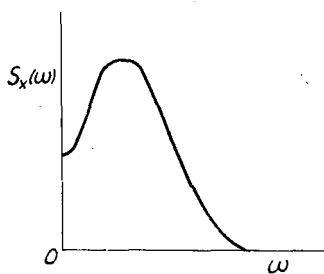
a



b



c



d

Slika 3

a - profil površine, b - distribucijska funkcija $f(x)$, c - avtokorelacijska funkcija $R_{xx}(\lambda)$, d - energijski spekter $S_x(\omega)$

Metoda, s katero je mogoče zajeti horizontalne lastnosti površine, uporablja avtokorelacijsko funkcijo $R_{xx}(\lambda)$, ki jo je mogoče izračunati iz profila, predstavljenega v digitalni obliki, tako da so ordinate med seboj oddaljene za razmak λ (21):

$$R_{xx}(\lambda) = \frac{1}{N-\lambda} \sum_{i=1}^{N-\lambda} x(l_i) \times x(l_i + \lambda)$$

$$x(l_i) = x_i - m_x$$

N = skupno število ordinat

λ = razmak med dvema ordinatama, potreben za izračun korelacije funkcije

Numerično se s pomočjo avtokorelacijske funkcije površina ovrednoti s korelacijsko dolžino λ_0 ter s korelacijsko valovno dolžino λ_ω (glej sliko 3c). Oblika korelacijske funkcije kaže slučajen in periodičen delež, ki ju vsebuje površina. Ker je potek funkcije mogoče aproksimirati z e-funkcijo, je tako mogoče definirati slučajni delež površine.

Včasih se za karakteriziranje profila površine uporablja tudi Fourierjeva transformacija korelacije funkcije t.im. variančni spekter ali energijski spekter $S_{xx}(\omega)$, ki kaže, s katero frekvenco se obračajo variance profila.

$$S_{xx}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty R_{xx}(\lambda) \cos \omega \lambda \, d\lambda$$

$$\omega = 2\pi f \text{ - kotna frekvenca v periodah/cm}$$

$$f = \text{frekvenca v periodah/cm}$$

Pomanjkljivost takšne frekvenčne analize pa je v tem, da ni možnosti za določitev pomembne korelacijske dolžine.

V novejšem času so bili razviti še aparati, s katerimi se da določiti nove parametre profila: R_a in ϕ naklonskega kota profila. Posebno pomemben je standardni odklon naklonskega kota, ki odraža obnašanje avtokorelacijske funkcije, tako da loči različne oblike profila, čeprav je ϕ_x konstanten.

3. DISKUSIJA

Mehansko obdelana površina lesa torej izkazuje bistveno drugačno konfiguracijo v primerjavi s kovinsko. Pri ocenjevanju sposobnosti posameznih metod za številčno ovrednotenje take konfiguracije pa je treba upoštevati še eno posebnost lesne površine. Pri kovinskih površinah je prečna neravnost navadno mnogo večja kot vzdolžna (prečna neravnost se meri pravokotno na smer sledi orodja, vzdolžna pa v smeri orodja). Nasprotno pa je pri lesnih površinah vzdolžna neravnost pogosto celo večja od prečne (25)*. Pri tistih kovinskih površinah, ki imajo izrazito usmerjene neravnine, zato navadno zadoščajo dvodimenzionalne meritve, pri lesnih površinah pa bi takšne meritve lahko privedle do napačne ocene površine. Trodimenzionalne meritve so pri lesnih površinah zato nujne.

Prednost svetlobnih aparatov za ocenjevanje površine je v tem, da nedestruktivno delujejo na površino in bi torej lahko z njimi merili tudi dvignjena vlakna. Ugotovitev točne meje med svetlim in temnim delom površine pa je izpostavljena hudim subjektivnim napakam (18, 22). Te napake nastopajo zaradi presvetlitve koncev vlaken lesa in zaradi barve lesa, ki je v primerjavi s kovinami zelo svetla. Dodatna pomanjkljivost Schmaltzovega aparata je še v tem, da zajema zelo ozko območje površine ter v tem, ker je zaradi poševnega projiciranja profil površine popačen, posebno če se opazujejo anizotropne površine. Glavni razlog, da se ta način ni nadalje razvijal v smislu standardne metode pa je v tem, da meritev praktično ni mogoče mehanizirati, tako da bi posredovale številčno stanje površine.

Pastni test je edina od naštetih metod, ki zajema trodimenzionalno meritev. Vendar tu nastopajo težave zaradi upora toka kapljevine, še bolj pa zaradi absorpcijskih pojavov, ki otežujejo meritev pa tudi primerjavo med vrednostmi zelo različno poroznih vrst lesa.

Kapljica metoda je videti na prvi pogled uporabljiva, vendar je Suzuki ugotovil, da je prekučni kot odvisen od kontaktnega kota α . Kontaktni kot pa je odvisen od velikosti kapljice in se s povečanjem ali zmanjševanjem velikosti kapljice celo histerезno spreminja. Težave, ki nastopajo pri doziranju kapljice in nepoznavanje razmer, ki vplivajo na kot α (površina lesa je običajno prevlečena s tankim filmom umazanije, kar vpliva na velikost kontaktnega kota) tako omejujejo uporabnost te metode.

Daleč največje je število avtorjev, ki priporočajo metodo s tipalom, zato je tej metodi vredno posvetiti največ pozornosti (3, 4, 10, 14, 16, 22, 24, 26). Med prednostni metode izstopa udobno avtomatsko ovrednotenje posnetih krivulj. Pri tem pa se postavlja naslednja vprašanja:

1. Ali je mogoče ustrezno povečati merilno območje?
2. Ali konica tipala poškoduje površino lesa in je zato zapis popačen?

* SIEMENSKI je za ocenjevanje neravnosti uporabil parameter R_m , ki je aritmetična sredina diferenc nivoja med posameznimi vrhovi in sosednjimi najnižjimi točkami profila.

3. Ali je konica tipala res sposobna registrirati vse značilnosti lesne površine?
4. Ali je tipalo sposobno registrirati površino tudi trodimenzionalno?
5. Ali je mogoče najti ustrezen matematični sistem, ki bi omogočil okarakteriziranje površine z eno samo vrednostjo?

ad 1.

Pri površinah mehansko obdelanega lesa se $R_{\max}$ giblje v dosti večjem razponu ($R_m = 1,6 \mu\text{m}$ do $1600 \mu\text{m}$; SIEMINSKI) kot pri kovinah, saj moramo meritve zajeti vse površine od fino brušenih do grobo žaganih, kjer je lahko $R_{\max}$ tudi 2,5 mm. Z uporabo prenosnikov (n.pr. samonapajalni tip LVDT) je danes to vprašanje vsekakor rešljivo z uporabo konstrukcije PETERSA in MERGENA (23).

ad 2.

V osnovi naj bi bil radij konice tipala čim manjši, da bi se ta lahko čim bolj prilagodila neravninam površine. Vendar se da radij konice zmanjševati le do določene meje, ker z zmanjševanjem radija močno narašča specifična tlačna sila in lahko končno pride do prekoračenja tlačne trdnosti materiala. Sila, s katero konica tipala deluje na površino, je pri določenem radiju omejena z mehaničnim delom elektromehanske tipalne naprave. Tudi v spodnji meji neravnine (v dolini) je potrebna neka minimalna tlačna sila na površino. Pri dobrih aparatih ta vrednost ne pade pod 0,2 p. V najvišji točki neravnine (hrib) pa je ta vrednost ustrezno večja zaradi elastičnosti sistema tipalnega mehanizma in znaša n.pr. pri Forsterjevem aparatu okoli 2 p. To vrednost je tudi treba upoštevati v izračunu. Minimalni dovoljeni radij konice tipala je raziskoval EHLERS (3), ki je uporabil Hertzovo formulo za določanje maksimalne tlačne napetosti pri vtiskanju togega predmeta kroglaste oblike v homogeno površino:

$$\sigma_{\max} = \sqrt[3]{0,058 P \frac{E^2}{\rho^2}}$$

P - tlak konice

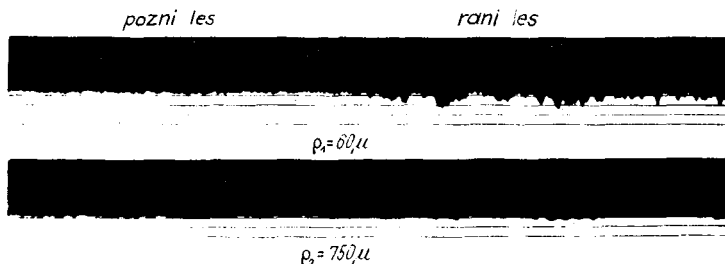
E - modul elastičnosti

ρ - radij konice

$\sigma_{\max}$ - maksimalna tlačna napetost

Med σ in ρ je hiperbolična odvisnost, zato pri majhnih radijih konice tlak silno naraste. Pri izračunu minimalnega dovoljenega radija je treba upoštevati, da je les porozen material in je zato treba v enačbo vstaviti E modul in σ_{dop} lesne substance. Ehlers je kot najboljši približek vzel vrednost lignostopa (gostota 1,41 g/cm³, E modul σ na vlakna 57000 kp/cm², $\sigma_{\text{dop}} = 900 \text{ kp/cm}^2$ po F. KOLLMA-NNU). Minimalni dopustni radij konice bi bil tako cca. 200 μm , vendar je EHLERS kot odločilna pri odločanju $\rho_{\min}$ navedel mikroskopska opazovanja poškodb na površinah, po katerih se je gibalo tipalo. Po njegovih ugotovitvah je možno radij 60 μm šteti za mejni radij, pri katerem še ne pride do poškodb površine lesa. V podkrepitev svoje trditve o minimalnem radiju navaja tudi naslednji poizkus na Forsterjevem aparatu. Površina obdelanega lesa smreke je bila posneta s konicama dveh različnih radijev $\rho_1 = 60 \mu\text{m}$ in $\rho_2 = 750 \mu\text{m}$, tako da je polovico merilnega območja zajemal pozni, polovico pa rani les. Rezultat, prikazan na sliki 4 kaže, da ne nastopa višinska razlika med ranim in poznim lesom pri uporabi ρ_1 .

Ta razlaga nedestruktivnosti testa bi ustrezala, če bi bila tlačna trdnost substance ranega lesa manjša od tlačne trdnosti poznega, vendar ni dokaza za takšno trditev. Očitno je pri določitvi minimalnega radija treba izvesti še nekaj dodatnih opazovanj. Predvsem je treba ugotoviti, kakšne so deformacije med potovanjem konice po površini.



Slika 4

Efektivni profil površine zračno suhega lesa jelke. Smer pomikanje tipala je prečno na vlakna (po EHLERSU - 3).

ad 3.

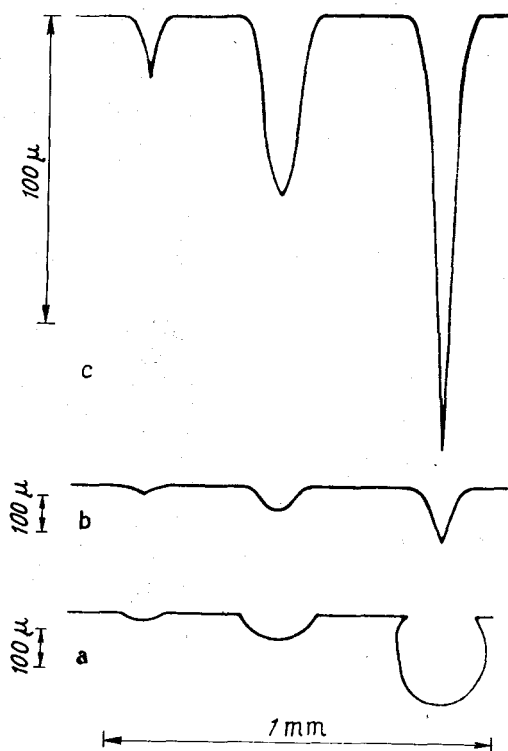
Površino mehansko obdelane kovine sestavljajo razmeroma položne neravnine, ki običajno niso napuščasto oblikovane. Konica tipala zato lahko z lahkoto posname krivuljo ovojnice, ki je zelo podobna realnemu profilu. Pri površini lesa nastopajo posebnosti, kot so pore lesa (prerezi cevastih celik v različnih smereh), nadalje privzdignjena in iztrgana vlakna ter nalomljene in deloma raztrgane celične stene. Notranjosti por konica tipala ne more popolnoma otipati. Slika 5 shematično kaže prerez površine in zapis takšne površine z radijem konice 50 μm in konusom 45°.

Rezultat je še slabši, če uporabimo konico s konusom 90° (Talysurfov instrument). Merilne napake so zaradi radija in konusa konice neizogibne in so tem večje, čim bolj napuščasto so oblikovane neravnine. Teh pa je pri lesni površini precej. Tipalo tudi ne more registrirati privzdignjenih vlaken, ker jih na poti odriva. Nesposobnost instrumenta za otipavanje notranjosti por sicer ni kritična, če upoštevamo definicijo ravnosti za les, t.j. površino mikrotomskega reza. Hujša utegne biti nesposobnost instrumenta pri odkrivanju preostalih značilnosti lesne površine.

ad 4.

Kako pomembno je trodimenzionalno ovrednotenje površine, je mogoče slutiti že iz dejstva, da zaradi večdimenzionalnih oblik površine nastopajo napake efektivnega profila že pri premočrtnem gibanju tipala. Po Perthenu (18) je treba računati z naslednjimi napakami profila:

R	napaka
≤ 1 μ	± 50%
≤ 20 μ (velikostni razred vlaken lesa)	± 20%
≤ 100 μ	± 5%



Slika 5

Shematično posnemanje profila. a - teoretični realni profil. b - efektivni profil pri uporabi radija konice $60 \mu\text{m}$. c - efektivni profil z vertikalno povečavo (po EHLERSU - 3).

S tipalno metodo je površino mogoče zajeti trodimenzionalno. Za lesne površine bi prišla v poštev radijalna metoda (13), pri kateri se iz neke začetne točke posname več profilov v različnih smereh. Kot kriterij služi korelacijska dolžina, pri kateri pade vrednost avtokorelacijske funkcije za polovico začetne vrednosti v odvisnosti od smeri profila.

ad 5.

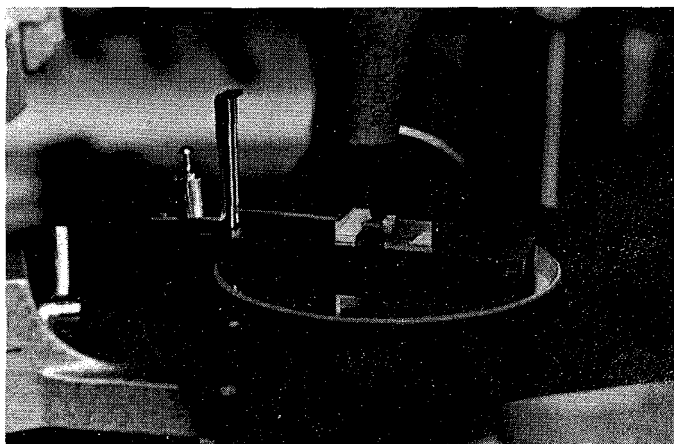
Videti je, da ni možnosti, da bi le eno število adekvatno ovrednotilo površino (20, 22, 27). Problem je zelo kompleksen, saj še celo na kovinskem področju ni splošne rešitve, ker posamezne države predpisujejo za standard različne parametre profila (19).

4. POIZKUS DEFORMACIJE POVRŠINE S TIPALOM

Ker je minimalni radij tipala zelo pomembna dimenzija (saj je od njega bistveno odvisno ujemanje efektivnega profila z realnim), je bil izveden poizkus ugotovitve deformacije površine pod konico tipala in to med obremenitvijo. Deformacija površine (elastične ali plastične) namreč zahteva povečanje radija tipala in s tem povzroči manjšo natančnost posnetega profila. EHLERS je določil minimalni dopustni radij konice, ki znaša 60 μm .

Namen pričujočega poizkusa je ugotoviti, če je mogoče radij konice še zmanjšati. Izbrana je bila konica tipala z radijem 35 μm in konusom 45° . Obremenitev površine s tipalom je bila opravljena enkrat s silo 0,2 p in nato na istem mestu s silo 2 p, to je s silo, ki jo izvaja Forsterjev aparat na najvišje neravnine. Površina je bila obremenjena z utežjo na pripravi, ki jo kaže slika 6. Nastale deformacije so bile fotografirane skozi mikroskop pri 150 kratni povečavi. Globina vtiska je bila nato izmerjena na fotografskih posnetkih. Preizkušene so bile naslednje površine vzorcev dimenzij 2,5 x 3,5 x 16 mm (vsak vzorec je imel pet slučajno izbranih merilnih mest na ranem in poznem lesu):

balsa (*Ochroma pyramidale*), ročno skoblana, tangencialni vzdolžni rez,
balsa, ročno skoblana, čelni rez,
smreka (*Picea abies*), mikrotomski čelni rez,
smreka, žagana s tračno žago, tangencialni vzdolžni rez,
bukev (*Fagus silvatica*), mikrotomski čelni rez,
bukev, žagana s tračno žago, tangencialni vzdolžni rez,
jesen (*Fraxinus excelsior*), mikrotomski čelni rez,
iverna plošča, iveri iglavcev.

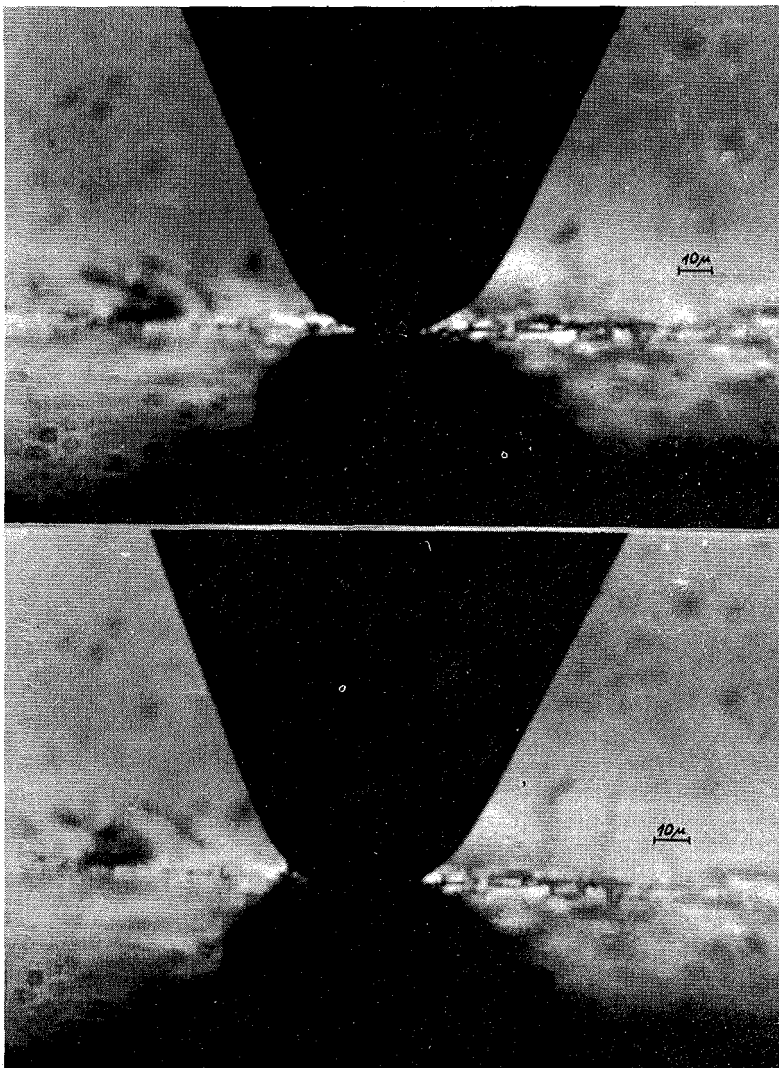


Slika 6

Naprava za obremenjevanje vzorcev

REZULTATI

Pri obremenjevanju balse so se pojavile najresnejše poškodbe in to tako v prečni kot v vzdolžni površini. Velikost deformacije, ki je celo plastična, je okoli $4\text{ }\mu\text{m}$ (slika 7). V vseh točkah meritve preostalih vzorcev pa ni bilo mogoče opaziti niti plastičnih niti elastičnih deformacij površine. Očitno bi bilo torej mogoče, do sedaj uporabljeni minimalni radij, še zmanjšati.



Slika 7

Zgoraj - tangencialna površina balse pri obremenitvi s tipalom 0,2 p.
Spodaj - isto mesto površine med obremenitvijo 2 p.

Poizkus je bil izveden tudi z pomikanjem vzorcev med stalno obremenitvijo 2 p. Ugotovljeno je bilo, da tipalo dobro sledi nepravilnostim površine, vendar n.pr. pri tračno žaganih površinah ni sposobno registrirati privzdignjenih vlaken ali skupine vlaken (slika 8).



Slika 8

Konica tipala na površini tračno žaganega lesa smreke.

5. POVZETEK IN ZAKLJUČEK

Površina mehansko obdelanega lesa je bistveno drugačna od površine kovine, ki nastane z odrezavanjem. Posebnosti lesne površine so poroznost, privzdignjena ali iztrgana vlakna, ter zmečkane in raztrgane celične stene. Zato so razredi neravnosti različno definirani. Različne so tudi zahteve ovrednotenja površine, od katerih je posebno pomembna trodimenzionalnost meritev.

Za ugotavljanje neravnosti površin lesa so na razpolago štirje osnovni načini (svetlobna metoda, pastni test, kapljična metoda, tipalna metoda) med katerimi pa ima vsak svojo pomanjkljivost, ki zavira razvoj metode v splošen standard. Pomanjkljivost svetlobnih aparatov je v subjektivnosti meritev in v nesposobnosti mehaniziranja meritev. Poroznost lesne površine zavira uspešnost pastnega testa. Kapljična metoda pa je neuporabna zaradi težko kontroliranega kontaktnega kota.

V novejšem času je bila tipalna metoda izpopolnjena tako, da je bilo območje meritev prilagojeno razponu neravnosti lesnih površin. Prav tako je dosežena tudi zadovoljivo majhna sila, s katero tipalo deluje na površino. S poizkusom zmanjšanja

radija konice tipala (na 35 μ m) je bilo ugotovljeno, da obstajajo možnosti za povečanje natančnosti zapisa površine, vendar je perspektivnost te metode kljub temu omejena. Pri uporabi metode v bazičnih raziskavah je kritična pomanjkljivost v tem, da ne registrira vseh značilnosti lesne površine. V praktični uporabi pa je treba upoštevati, da za ocenitev komplicirane lesne površine potrebujemo parametre profila, med katerimi je treba nekatere izračunavati tudi z analognim ali digitalnim računalnikom. Čeprav torej ocenitev površine lesa pri tipalnem načinu terja zahtevno metodologijo, pa je problematika lesnih površin v primerjavi s kovinskimi dosti manjšega pomena, ker se ne ukvarja s problemi drsenja med površinami.

Zato se postavlja zahteva po novi, enostavnejši metodi ovrednotenja lesnih površin, ki naj bo po možnosti trodimenzionalna in ki mora nesubjektivno dati uporaben številčni podatek o geometrijskem stanju površine.

SUMMARY

A cut wood surface differs essentially from a metal surface generated by cutting. Specific characteristics of wood surfaces are: porosity, raised or detached cells, and crushed or deformed cell walls. Orders of deviation are therefore defined in a different way. Wood surface evaluation requirements are thus also different; most important is the three-dimensional assesment.

Four basic methods (i.e. light-sectioning, paste test, stylus tracing and water drop method) are available for wood surface irregularities evaluation. Each of the four methods has its shortcomings. The metod using light-sectioning instruments allows measurements greatly effected by personnal interpretation while the measurement procedure cannot be mechanized. Wood surface porosity is a hadicap for a succesful application of the paste test. The water-drop method is useless due to the hard to control contact angle.

Recently the stylus-tracing method have been improved and now provides the adjustment of the range of measurements to the range of wood surface irregularities. Also, a sufficiently small touching pressure of the stylus on the surface has been obtained. The experiment introducing a smaller stylus radius (35 μ) at the force of 2 p showed that possibility fot increased accuracy of profile recording does exist, however, further development of this method seems limited. Namely, application of the stylus-trace method in basic research implies a critical shortcoming, i.e., that the method fails to record all wood surface characteristics. But, on shop-level it is important to consider the fact that complicated wood surface requires profile parameters some of which have to be computed by analogue or digital computers. Even though wood surface evaluation by way of stylus-tracing method requires highly sophysticated equipment, the assessment of wood surface is of much smaller importance than that of metal surface because the problems concerning surface sliding do not relate to wood products.

A basically new method of wood surface evaluation is thus needed. The method should provide three-dimensional assessment and should give an objective, useful information about the geometrical state of wood surfaces.

LITERATURA

1. DIN 4760: Begriffe für die Gestalt von Oberflächen (1960).
2. DIN 4761: Begriffe, Benennungen und Kurzzeichen für den Oberflächencharacter (1960).
3. EHLERS, W.: Über die Bestimmung der Güte von Holzoberflächen. Holz als Roh- u. Werkstoff 16, 2, 49-60 (1958).
4. ELMENDORF, A., VAUGHAN, T.W.: Survey of Methods of Measuring Smoothness of Wood. For. Prod. J. 8, 10, 257-282 (1958).
5. GABY, L.I.: Surface Checking of White Oak as Related to Mechanical Processing. For. Prod. J. 13, 12, 529-532 (1963).
6. HANN, R.A.: A Method of Qualitative Topografic Analysis of Wood Surfaces. For. Prod. J. 7, 12, 448-452 (1957).
7. HEFTY, F.V., BROOKS, J.K.: Portable Apparatus for Measuring Surface Irregularities in Panel Products. U. S. For. Serv. Res. Note, U.S. For. Prod. Lab, Madison No. FPL-0192 (1968).
8. HEEBINK, G.B.: Measuring Surface Irregularities in Panel Products. U. S. For. Serv. Res. Note, U. S. For. Prod. Lab, Madison No. FPL-0159 (1967).
9. ISO Recommendation R 468: Surface Roughness (1966).
10. KIKATA, Y.: Studies on Surface Roughness of Wood. II. A Simple Apparatus for Determining Surface Roughness and It's Applicable Conditions. J. Jap. Wood Res. Soc. 4, 6, 216-219 (1958).
11. KIKATA Y., HIRAMATSU I.: Studies on Surface Roughness of Wood. III. Shape of Dents on the Surface of Wood. J. Jap. Wood Res. Soc. 5, 4, 138-143 (1959).
12. KOLLMANN, F.F.P., COTÉ, W.A.: Principles of Wood Science and Technology. Springer Verlag. Berlin-Heidelberg-New York, 94-95 (1968).
13. KUBO, M., PEKLENIK, J.: An Analysis of Micro-Geometrical Isotropy for Random Surface Structures. Annals of the C.I.R.P. Vol 16, 235-242 (1968).
14. KULEŠOV, L.F., ŠUIN, V.E.: Induktivnij profilograf dlja izmerenija neravnostej na drevesine. Derev. Prom. 15, 2, 10-11 (1966).
15. LUTZ, J.F.: Measuring Roughness of Rotary-Cut Veneer. The Timberman 53, 5, 97-99 (1952).
16. MAXEY, C.W.: Measuring Texture and Contact Area of End-Wood Surfaces. Materials Research & Standards, Philadelphia 4, 6, 279-285 (1964).
17. MINIUTI, V.P.: Microscale Changes in Cell Structure During Weathering. For. Prod. J. 14, 12, 571-576 (1964).
18. NEUSSER, H., KRAMES, U.: Die Bestimmung der Oberflächenform vor allem bei Spanplatten, unter besonderer Berücksichtigung der Oberflächenschönheit. Holzforsch. u. Holzverwert, Wien 19, 6, 97-115 (1967).
19. OLSEN, K.V.: On the Standardization of Surface Roughness Measurements, Bruel and Kjaer Tech. Rev. (B. & K. Instruments, Ins.), Copenhagen (1961).
20. PAHLITZSCH, G., DZIOBEK, K.: Die Beurteilung bearbeiteter Holzoberflächen. Holztechnologie 6, 3, 153-160 (1965).
21. PEKLENIK, J.: Neuere statistische Verfahren zur topografischen Erfassung von Oberflächen. I. Die zweidimensionale Identifizierung. wt-Z. ind. Fertig. 59, 11, 580-589 (1969).
22. PETERS, C.C., Cumming, J.D.: Mesuring Wood Surface Smoothness: A Review. For. Prod. J. 20, 12, 40-43 (1970).

23. PETERS, C.C., MERGEN, A.: Measuring Wood Surface Smoothness: A Proposed Method. For. Prod. J. 21, 7, 28-30 (1971).
24. RINKEFEIL, R.: Die Bestimmung der Qualität von Holzoberflächen mit Profilschnittgeräten und ihre ökonomischen Grenzen. Holztechnologie 3, 1, 75-81 (1962).
25. SIEMINSKY, R.: Prüfen und Messen der Oberflächengestalt von Holz und Holzwerkstoffen. Holz als Roh-u. Werkstoff 24, 9, 396-404 (1966).
26. STUMBO, D.: Surface Texture Measurements for Quality and Production Control. For. Prod. J. 10, 2, 122-124 (1960).
27. STUMBO, D.A.: Surface Texture Measurement Methods. For. Prod. J. 13, 7, 299-304 (1963).
28. SUZUKI, R.: The Measurement of Roughness of Cut Surface by Drop of Water. I. J. Jap. Wood Res. Soc. 4, 4, 156-161 (1958).
29. THUNELL, B., AOYAMA, T.: Microscopic Observations on the Machined Surface of Wood. Mikroskopie, Wien 21, 7/8, 189-196 (1966).