



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

IV. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2021eko ekainaren 9, 10 eta 11a
Gasteiz, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Eraikuntzan erabiltzen diren CLT
panelen kontraieztuen
karakterizaziorako on-line laser
profilometro baten proposamena**

*Danel Bargiela Mengod eta
Gaizka Durana Apaolaza*

193-200 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iv.03.24>

ANTOLATZAILEA:



LAGUNTZAILEAK:



Eraikuntzan erabiltzen diren CLT panelen kontraijeztuen karakterizaziorako on-line laser profilometro baten proposamena

Bargiela, D. eta Durana, G.

*Komunikazioen Ingeniaritza Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU, Torres
Quevedo Ingeniaria Plaza 1, 48013 Bilbao*
daniel.bargiela@ehu.eus

Laburpena

Zurak, etorkizunean izango duen aplikazioaren arabera, akabera-tratamenduen menpekoak diren hainbat kalitate-estandar bete behar ditu. Zimurtasunaren karakterizazio azkar eta zehatzak fabrikazio-prozesua denbora errealean zuzentzea ahalbidetuko luke. Lan honetan, laser-teknologian oinarritutako profilometro bat proposatzen da, zimurtasun-parametroak denbora errealean kuantifikatzeko gai dena, behin jasotako seinale gordina era egokian prozesatu eta gero. Emaizak adostasun-maila handia erakusten dute kontaktuzko profilometro profesional batek eskainitako balioekin, eta gainera laser-teknologiak kontaktu gabeko neurketa oso azkarrak ahalbidetzen ditu, honek dakartzan abantaila guztiekin. Hortaz, lan honek zuraren industrian zimurtasuna on-line eta kontaktu gabe neurtzeko sistema oso bat aurkezten du.

Hitz-gakoak: laser-triangulazioa, profilometroa, CLT, zimurtasun-parametroak.

Abstract

Wood, depending on its future application, must meet several quality standards which are subject to finishing treatments. Fast and accurate characterization of roughness would allow the manufacturing process to be corrected in real-time. In this work, a profilometer based on laser technology is proposed, which is able to quantify the roughness parameters in real-time, once the received raw signal has been properly processed. The results show a high degree of agreement with the values offered by a professional contact profilometer. In addition, laser technology allows very fast non-contact measurements, with all the advantages that this entails. Therefore, this work presents a complete system for measuring the roughness of wood online and without contact that may be of interest to the wood industry.

Keywords: laser triangulation, profilometer, CLT, roughness parameters.

1. Sarrera eta motibazioa/ momentuko egoera

Zurezko produktu enbaturatuen azaleraren zimurtasuna propietate kritikoa da, eta neurri handi batean produktuaren kalitateari, balioari eta, bereziki, CLT (ingelesezko “Cross Laminated Timber”-en akronimoa) panel kontraijeztuetan eta zurezko eraikuntzaren eremuan, bizitza erabilgarriari eragiten dio. Zimurtasuna hainbat faktoreren arabera da, besteak beste, materialaren propietateak, mekanizazio-prozesua eta ebaketa erreminten baldintzak (Sandak et al., 2019), fabrikazio-prozesu baten adierazle fidagarri bihurtuz.

Zuraren industrian kalitatea kontrolatzeko erabiltzen den metodo arruntena, mekanizazio-prozesuaren ondoren lagin-multzo bat biltzean oinarritzen da (Hu eta Afzal, 2004), ondoren kontaktuzko profilometro baten bidez aztertzeko. Hala ere, kontaktuzko profilometroen kasuan,

metalezko ukitze-orratz – zuraren gainazala urratuko duena-, bat erabiltzeak zenbait eragozpen eragiten ditu: neurketa-abiadura motela, gainazalaren aldaketa, eta abar.

2. Ikerketaren helburuak

Lan honetan aurkezten den soluzio teknologikoak, mekanizazio-prozesuan zehar – eta ez honen ondoren – zuraren gainazala era jarraituan ikuskatzeko aukera eskainiko luke, proposatutako sistemak zur-xaflen ekoizpena etengabeko monitorizazioa egiteko gai baita.

Bestalde, ebaketa-erremintak ordeztuko unerik egokiena manufaktura-industriaren erronka nagusietako bat ere bada (Sandak et al., 2019), eta horregatik, tresna optiko honen helburua produkzio-prozesuan zehar gerta litezkeen akatsez ohartaraztea ere bada, azken hauek eta ebaketa-erreminten egoera konkretua neurri handi batetan lotuta baitaude.

3. Ikerketaren muina eta ondorioak

Lan honetan erabiltzen den oinarrizko printzipioa hauxe da: zimurtasun-parametroen balio zehatzak fabrikazio-metodoaren kalitatearen islada dira, beraz, fabrikazio-akatsak murriztu ahal izango dira akabera-prozesua aztertuz eta zuzenduz. Gaur eguneko zuraren industrian duten interesagatik, ikerketa-lan honetan; CLT panel kontraikertzutak kontsideratu dira (Egoin, 2016a).

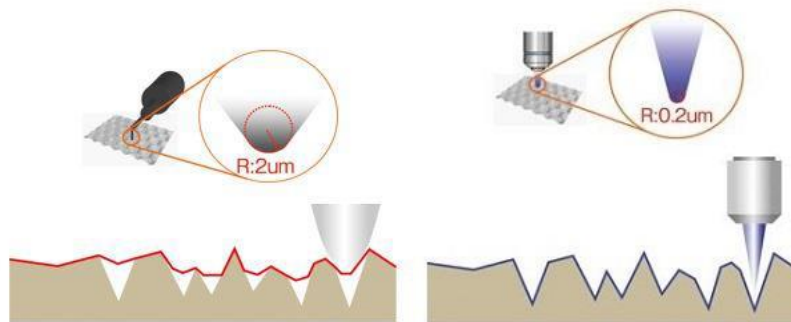
Neurketa-sistemak ekoizpen linean izango lukeen antolamendua simulatzeko, laser-triangulazioan oinarritutako sistema optikoa abiadura konstantean higitzen den plataforma lineal baten gainean kokatu zen berariaz diseinatutako aluminiozko plataforma erabiliz. Neurketa-sistemak zur-gainazalerainoko distantzia neurtzen du bereizmen handiarekin ($0.15\ \mu\text{m}$ ingurukoa). Jasotako seinale gordinari iragazketa-tratamendu egokia aplikatu ondoren, desiragarriak ez diren maiztasun-osagaiak deuseztatu daitezke (maiztasun altuko zarata, hala nola instalazioaren bibrazioek eragindakoak, eta abar (Hu eta Afzal, 2004)) zimurtasun-parametro desberdinen balioak determinatu ahal izateko.

Konparaketa beste neurketa-metodo batzuekin:

Zuraren kasuan gainazal-zimurtasuna neurtzeko metodoa fidagarria izatea nahi bada, gutxienez 40 eta 50 mm arteko luzeran zehar neurtzea komeniko litzateke, zimurtasun-parametroak luzera-tarte honetan egonkortzen baitira (Gurau eta Irle, 2017). Halaber, kontaktuzko neurketa-metodoetan eta lagin bigunen kasuan (zura, kasu) lor daitekeen zehaztasuna mugatua da, lagina bera, kaltetu daitekeelako kontaktuaren ondorioz. Azkenik aipatu, ingurune kontrolatuetako saiakuntza puntualetan ez bada, zaila dela hasieratik neurketa-probetak zehazki jartzea kontaktuzko neurketa-metodoetan.

Horrez gain, eta ukitze-puntaren dimentsioari lotuta, hau baino txikiago diren gainazal-eremuetan erabiltzeak xehetasun eta ezaugarri batzuk galtzea eragiten du (ikus 1. irudia), zenbait kasutan informazio-galera eraginez (Sevcik, 2019). Egoera horri laserraren izpi-sorta tamaina txikia kontrajartzen zaio, ukitze-punta baino askoz txikiagoa dena (ikus 1. irudia), eta beraz, kontaktu bidezko teknikekin baino profil askoz zehatzagoa lortzea ahalbidetzen duena.

1. irudia.- Kontaktuzko (esker-irudia) eta kontaktu-gabeko (eskuin-irudia) neurketa-metodoen kasuan, lagingarriko elkarrekintzaren irudia (Sevcik, 2019).



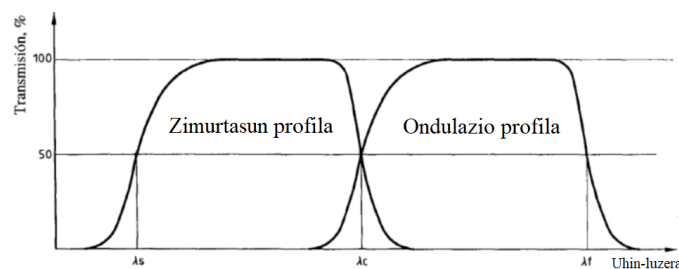
Laginen tamaina:

Azterketa honetako neurketak CLT panelen bi akabera desberdinetan burutu dira: akabera kalibratua eta arrabotatua. Horietariko bakoitzean, 7 metroan zehar neurtu izan dira zimurtasun-parametroak, hiru CLT panel desberdinetan zehar banatuta (bi aurpegiak aprobetxatuz, eta hauetariko bakoitzean 106 mm luzerako hamaika ibilbide paralelo definituz).

Neurtutako profilaren iragazketa:

Pieza baten gainazal-akabera ebaluatzeko orduan, zimurtasun, ondulazio eta forma-akatsak bereiz daitezke. Beraien arteko desberdintasuna gainazal errealaren desbideratze-espazioan nabari daiteke, alegia, gainazal-perturbazioaren maiztasunean. Horrela, desbideratze-maiztasuna handitzen den neurrian –edo bere uhin-luzera txikitu-, forma-akatsetik zimurtasun-akatserranzko desplazamendua gertatzen da (ikus 2. irudia).

2. irudia.- Ebaki uhin-luzeraren arabera iragazketaren transmisio-kurbak. Parte hartzen duten ebaki uhin-luzera desberdinak: λ_s , λ_c eta λ_f .



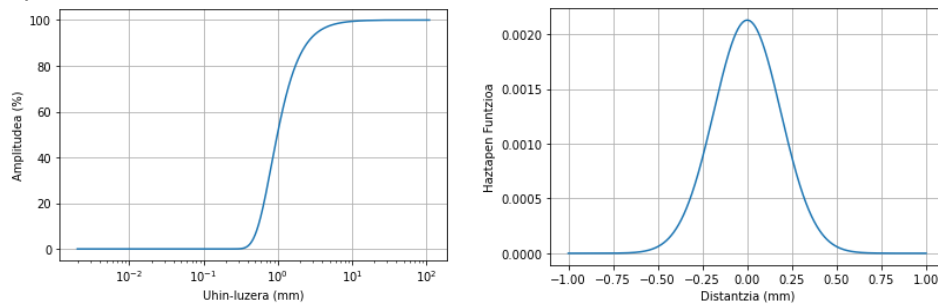
Beraz, zimurtasun-parametroak determinatzeko beharrezkoa den zimurtasun-profila, λ_s eta λ_c ebaki uhin-luzeren arteko maiztasun-osagaiak definituko dute. Era horretako iragazketa denboraren eremuan egiten da iragazki gausstarraren bitartez (ISO 16610-21). Iragazki horrek neurtutako profilaren puntuz-puntuko ekorketa egiten du honako probabilitate-kurbaren bitartez:

$$S(x) = \frac{1}{\alpha * \lambda_c} * e^{-\pi * \left(\frac{x}{\alpha * \lambda_c}\right)^2} \quad (1)$$

Era honetako iragazkiaren abantaila nagusia da, ebaki uhin-luzeraren inguruko osagaiak ez direla modu malkartsuan deuseztatzen, baizik eta pixkanaka indargabetzen direla (ikus 3.irudiko ezkerreko kurba).

Desabantaila gisa aipatu, iragazki horren definizioak profilaren ertzetan, bai eta “outliers” deritzen balioa arraroetan ere, distortsioak eragiten dituztela (Galván, 2008).

3. irudia.- 1mm-ko ebaki uhin-luzera duen iragazki gausstarraren amplitude indargabetzea eta haztaren funtzioa.

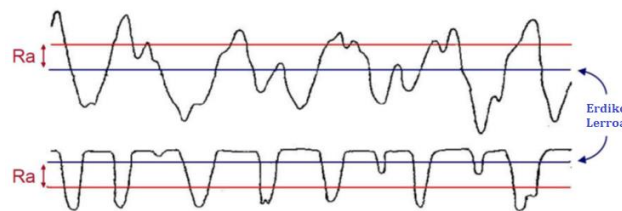


Zimurtasun-parametroak:

Azterlan honetan erabilitako zimurtasun-parametroak azaleretarako eta akaberetarako fabrikazio-industrian adierazgarrienak dira: Ra , Rq , Rp , Rv , Rz , Rmr eta RSm .

Ra : zimurtasunaren balio absolutuen batez besteko aritmetikoa. Profilak zimurtasunaren batez besteko lerroarekiko dituen desbideratzeak neurtzen ditu (4. irudia). (Rq , batez besteko zimurtasun koadratikoa).

4. irudia.- Ra bera duten profilak, baina portaera desberdina dutenak (ETSIB, 2017).



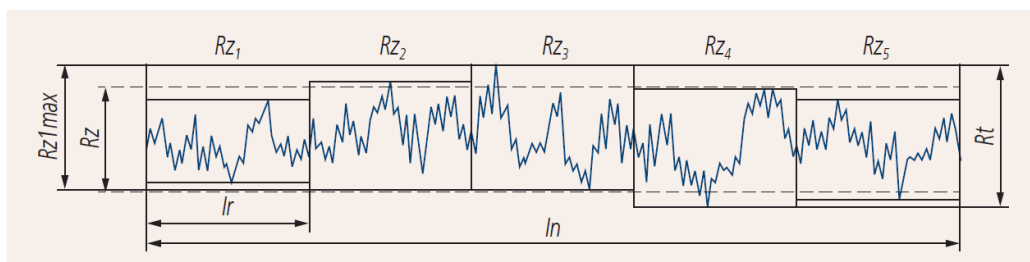
Rp eta Rv : tontorren gehieneko altuera eta haranaren gehieneko sakonera, hurrenez hurren. Mozte-luzera bakoitzean dauden haran handieneko gailur eta sakoneraren altuera adierazten dute.

Rz : zimurtasun-profilaren guztizko altuera. Honek tontor garaienaren eta haran sakonenaren sakoneraren arteko aldea erakusten du ebaketa luzera bakoitzean. Ebaluatutako laginketa-luzeren Rzi balioen batez besteko balioa. ($Rz1max$: zimurtasunaren gehieneko sakonera. Profilean ebaluatutako laginketa-luzera guztietako Rz handiena).

Rmr : profilaren osagai materiala. Profilean zehar trazatutako irudizko lerro baten zatia da, erdiko lerroaren gainetik (μm -tan).

RSm : tontorren batez besteko zabalera.

5. irudia.- zimurtasun-profilaren guztizko altuera (Rt), batez besteko zimurtasun-sakonera (Rz) eta zimurtasunaren gehieneko sakonera ($Rz1max$) (DANOBAT, 2009).



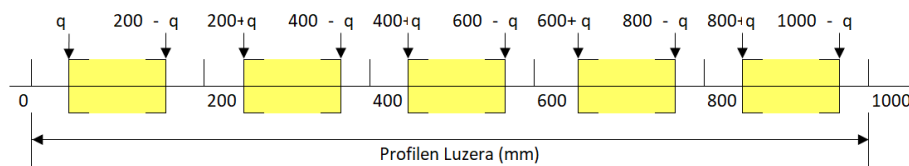
Algoritmoren garapena:

Neurtutako profila hainbat azpitartetan banatu izan da iragazkia aplikatzeko eta ondoren, uhin-osagaiak bereizteko –zimurtasuna eta ondulazioa-, ebaketa-uhinaren luzeren arabera. Distortsio-arazoak direla eta, aurretik ezarri behar dira zenbat ebaketa-luzera eta zenbat ebaluazio-luzera (kasu honetan, $L_{ebal} = 5 * L_{ebak}$) (Gurau eta Irle, 2017) zimurtasun-balio egokiak ziurtatzeko.

$$q = \text{int} \left(\frac{\lambda c}{dx} \right); \quad L_{ebal} = 5 * \lambda c; \quad (2), (3)$$

($q \rightarrow$ Iragazkiaren luzera (lagin kopurua), $dx \rightarrow$ Laginketa tartea (mm))

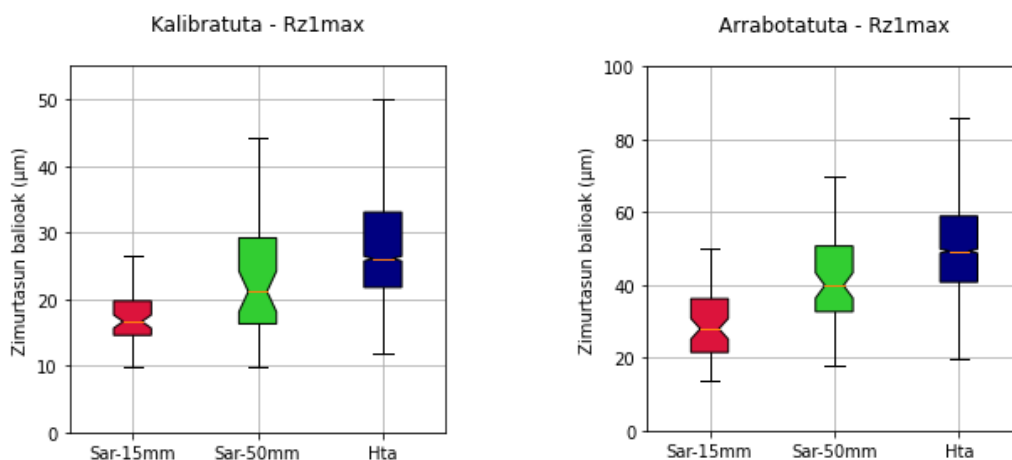
6. irudia.- Neurtutako profilaren zehar iragaztearen adibide teorikoa. 200 puntuko luze diren tarteak iragaziz, informazio kantitate nabarmena baztertu egin beharko da, ertzeko distortsioen ondorioz.



Iragazkia 200 puntuko azpitarteen gainean egiten bada (6. irudia), neurtutako puntu-kopuru bat ($2q$) iragazkiaren bi aldeetan galduko da, eta hori profil oso batera estrapolatuz (adib.: 1000 puntu), informazio garrantzitsuen galera dakar. Elkarren segidako tarteen artean datuak gal ez daitezzen, gainjarri egin dira, ertzetako distortsioek eragindako "q" puntu-kopuruaren arabera.

ISO-EN-DIN estandarren arabera (Mitutoyo, 2009) normalizatutako zimurtasun-parametroekin aldera daitezkeen zimurtasun emaitzak lortu dira (Gurau eta Irle, 2017). Are gehiago, rugosimetro eta laser-tresna bidez egindako neurketak alderatzean, haien arteko antzekotasunak nabarmentzen dira (7.irudia), gainera zimurtasuna neurtzeko balioak – arau orokor gisa – $\pm \% 20$ -ko tartean aldatzen direla jakinda (Mitutoyo, 2009).

7. irudia. - Sariki ISO neurrien (15 eta 50 mm-koak) eta laser-tresna optikoaren neurrien arteko konparazioa, kalibratua eta arrabotatua, $Rz1max$ zimurtasun-parametrorako.

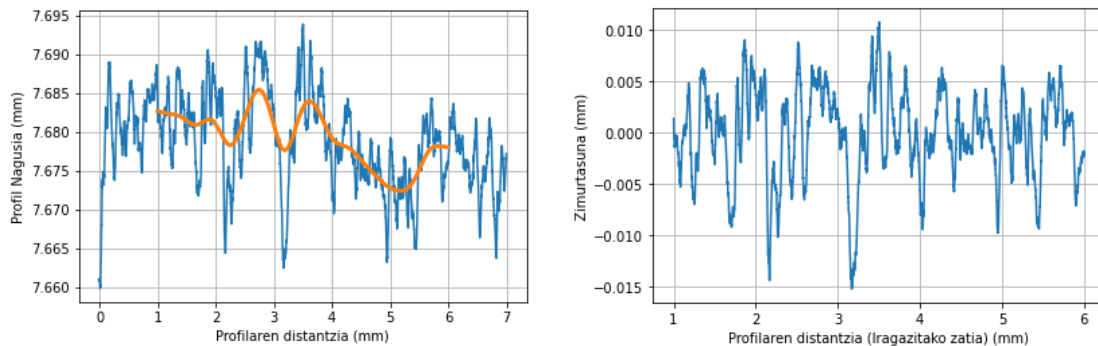


Konparatutako datu-baseen arteko aldeak rugosimetroko ukitze-orratzaren zehaztasun mugatuaren ondoriozkoak dira – 2 μm diametroko buru batekin –, xehetasun jakin batzuk iragazten eta ezagutzen ez dituenak, hala nola profilean estuak diren haranen sakontasuna (1.irudia), tresna optikoak aintzat hartzen dituenak eta, azkenik, emaitzetan eragiten dituztenak, zimurtasun-parametroen balioak handituz.

Aztertutako profilak (8. irudia) azpitarte baten luzera erakusten du, kasu honetan 14 mm-koa, behin zimurtasun-osagaiak (10.irudia) iragazkiaren jardun-tartearen barruan –laranjaz- kendu direnean; kasu honetan, $[2 < x < 12]$ (mm).

$$r(x) = z(x) - m(x) \quad (4)$$

8. irudia. - Profil primarioa, dagoeneko iragazitako zimurtasun-osagaiekin, profilaren lehen azpitartean. 10. irudia.- Zimurtasun-profila, tarte berean.



Aukeratutako ebaketa-luzeren balioek (λ_s eta λ_c -k) zehazten dute profiletik zer xehetasun-maila lortzen den. Ikerketa-lan honetan, iragazketaren errendimendu hoberena 0.008 mm eta 1.5 mm inguruko balioetarako lortu da, hurrenez hurren.

Eztabaida:

Proposatutako neurketa-sistema honetan hardware jakin bat aurkezteaz gain, kode irekiko algoritmo multzo bat ere aurkeztu izan da jasotako neurketa gordinen prozesaketa egokirako. Kodearen izaera irekiak etorkizunean proposa daitezkeen hobekuntzak inplementatzeko aukera eskaintzen du.

Erabilitako CLT panel kontraijeztuen jatorriari dagokionez, hauek zuhaitz berekoak izanik, zentzuzkoa dirudi pentsatzea gainazaleko akabera faktore bereizgarri bakarra izango dela, eta beraz, azterlanaren ardatz nagusia izan behar dela ere.

4. Ondorioak

Lan onetan neurketa-sistema optiko azkarra eta kontaktu gabekoa garatu da, online monitorizaziorako aproposa. Kontaktuzko profilometroak ez bezala, neurketa-tresna malgu bateko portaera izan du. Zuraren kasuan, sarritan ez baita egokia metalekin erabiltzen den gainazal-zimurtasunerako araudia aplikatzea, eta horregatik laser-tresna honen garapena. Hala ere, lortutako emaitzak onak izan badira ere, neurketa-bolumen handiagoa behar da etorkizunean neurketa-sistemaren ondorio guzti hauek erabat baieztatzeko.

5. Etorkizunerako planteatutako norabidea

Aurkeztutako lehenengo emaitza esperimentalek argiro erakusten dute laser profilometroaren inplementazioak izango lukeen potentzial handia CLT panel kontraieztuen zimurtasun-monitorizazioan; alde batetik, kontaktuzko profilometro estandar batek ematen duen erantzunarekiko bateragarritasun handia erakusten duelako, eta bestetik, neurketak kontaktu gabe era abiadura handian egin daitezkeelako. Hori horrela izanik, lortutako emaitzen fidagarritasuna bermatu beharko litzateke etorkizunari begira. Horri bidea emateko era bat analisi estatistiko sakonago bat litzateke, non panel-lagin kopuru handiago bat, edo/eta zuhaitz-jatorri desberdinak kontsideratuko beharko liratekeen. Beste planteamendu interesgarri bat ekoizpen-linean egindako neurketa esperimentalek eskainitakoa izango litzateke.

6. Erreferentziak

- DANOBAT. (2009). *Tailerreko eskuliburu teknikoa*. Danobat Kooperatiba Elkarte. <https://www.danobatgroup.com/media/uploads/nosotros/euskera/Tailerreko-eskuliburu-teknikoa-DANOBAT.pdf>
- Egoín a. (2016.eko Maiatzak 31). *CLT eta CLT mix panel kontraieztuak dituzten egiturak*. <https://egoín.com/eu/clt-eta-clt-mix-panel-kontraieztuak-dituzten-egiturak/> helbidetik eskuratua
- Egoín b. (2016.eko Maiatzak 31). *Gehien erabiltzen ditugun zur motak*. <https://egoín.com/eu/gehien-erabiltzen-ditugun-zur-motak/> helbidetik eskuratua
- ETSIB, Mekanikako Ingeniaritza Saila (2017). *Tema 17: Metrología del acabado superficial. Módulo IV: Metrología Dimensional (or. 16)*. http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/745_ca.pdf
- Galván, C. (2008.eko Urtarrila). Nuevo Software para Análisis de Datos de Rugosidad en 2D y 3D. *Simposio de Metrología [Symposium]*. Querétaro, México. https://www.researchgate.net/publication/237662556_Nuevo_Software_para_Analisis_de_Datos_de_Rugosidad_en_2D_y_3D
- Gurau, L., eta Irle, M. (2017). *Surface Roughness Evaluation Methods for Wood Products - a Review*. *Current Forestry Reports*, 3, 119-131. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40725-017-0053-4>
- Hu, C., eta Afzal, M. T. (2005). Automatic measurement of wood surface roughness by laser imaging. Part I - Development of laser imaging system. *Forest Products Society*, 55(12), 158-163.
- Mitutoyo (2009). *Quick Guide to Surface Roughness Measurement*. Mitutoyo America Corporation. https://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2012/11/1984_Surf_Roughness_PG.pdf
- Pelaz, L. (2012). *Equipos analizadores de señal*. Universidad de Valladolid. https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_IE/3Equipos%20analizadores%20de%20se%C3%B1al.pdf

- Sandak, J., Orłowski, K., Sandak, A., Chuchala, D., eta Taube, P. (2019, Abuztuak 25-30). *Vision System for On-line Monitoring of Wood Surface Roughness*. [Konferentzia] Proceedings of the 24th International Wood Machining Seminar, Corvallis, Oregon, Estatu Batuak. <https://zenodo.org/record/3551712#.YH3VkOgzbIU>
- Sevcik, D. (2019.eko azaroak 28). *Surface Roughness Measurement—Terms and Standards*. (Olympus Corporation) Eskuratzeko-eguna: 2020.eko abuztuak 17. Iturria: <https://www.olympus-ims.com/es/metrology/surface-roughness-measurement-portal/terms-and-standards/>

7. Eskerrak

Lan honek European Regional Development Fund-aren laguntza izan du alde batetik, bestetik Ministerio de Economía y Competitividad-rena RTI2018-094669-B-C31 proiektuaren bidez, eta azkenik Eusko Jaurlaritzarena, IT933-16 proiektuarena.