



IKER  
GAZTE  
NAZIOARTEKO  
IKERKETA EUSKARAZ

# I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15  
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:  
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

## INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Hole-drilling teknika zurezko  
egituren karakterizazioan**

*M. Crespo de Antonio  
eta S. Sánchez-Beitia*

495-502 or.  
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.68>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



eman ta zabal zazu



LAGUNTZAILEAK:



## Hole-drilling teknika zurezko egituren karakterizazioan

Crespo de Antonio M, Sánchez-Beitia S  
Donostiako Arkitektura Goi Eskola Teknikoa UPV/EHU  
maite.crespo@ehu.eus

### Laburpena

Egitura baten egungo egoera erreala zein den jakitea erronka bat da berez eta are gehiago arkitektura historikoan, heldu zaigun ondarea ahalik eta hoberen zaintzea xederik garrantzitsuena denean. Egitura baten ezaugarriak zehazteko hainbat teknika ez suntsitzaile edo erdi-erdi suntsitzaileak garatzen joan izan dira azkeneko urteetan. Hole-drilling teknika erdi-erdi suntsitzaileen artean kokatzen da. Teknika honek zulo txiki bat egin eta material kentze horrek zuloaren inguruan eragiten duen erlaxazioa hiru deformazio-sentsoreez osatutako erroseta baten bidez neurtzean datza. Aspalditik ezaguna da teknika hau baina bere erabilera material homogeneo eta isotropikoetara mugatzen zen.

Hemen aurkezten den lanaren nobedadea teknika egurrean aplikatzen dela da. Ortotropia da egurraren bereizgarrietako bat. Honek, norabide elastiko nagusi bakoitzean (axial, erradial eta tangenzial) portaera eta ezaugarri desberdinak izaten dituela esan nahi du. Hau aurrera pauso garrantzitsua da, orain arte, material isotropikoetara soilik mugatu baita.

Hitz gakoak: In situ ebaluazioa, Hole-drilling teknika, zurezko egiturak, eraikin historikoak, *compliance* tentsorea

### Abstract

*The deduction of the real stress state in structures is an important challenge, even more in existing buildings or historical constructions, which conservation is the main task. There are many non-destructive or minor destructive techniques around the assessment of the properties in structures are being developed in the current years. Hole-drilling technique is between minor destructive ones. The technique involves drilling a hole in a surface and measuring the relaxed strains after material removal in the surroundings of the hole. The strains are measured by means of strain gages placed forming a rosette. It is a widely known technique but its application was limited to isotropic homogeneous materials.*

*The novelty shown in this paper is the application of the technique on timber structures. Orthotropy is one of the features in wood. The properties and behavior of wood is different in each main elastic direction (axial, radial and tangential). This is an important step because till now the technique was only used on isotropic materials.*

*Keywords: In site assessment, Hole-drilling, timber structures, ancient constructions, compliance tensor*

### 1. Sarrera eta motibazioa

Egurra eraikuntzan erabili izan den material zaharrenetariko bat da, basoz hornitutako lurraldeetan historian zehar hedapen handia izan duena. Egurra erresistentzia altuko material organikoa da, nahiko arina eta transformazio gutxirekin egiturak eraikitzeke erabili daitekeena. Denbora askoan egitura horizontalak ebazteko gaitasuna eskaintzen zuen material bakarra izan da, solairuak eta estalkiak eraikitzeke erabili izan ohi dena. Baina material berrien agerpenekin, (altzairu ijaztua, ezaugarri teknologiko altuko hormigoiak eta beste hainbat material erakargarri), egurra bigarren plano batetara alboratua izan zen.

Alde batetik, ondare arkitektonikoarekiko interesa hazten doalako eta, bestetik, egurra ingurugiroa errespetatzen duen eta benetan jasagarria den eraikuntza material bakarra delako, haren erabilera eraikuntzan berpizten ari da azken urteetan.

Ondare historikoaren arloan hainbat eraikin zurezko egiturekin altxatuak izan ziren eta, beraz, zaharberritze lanetan oso ohikoa da baten batekin topatzea. Kasu gehienetan izaten den

informazio teknikoa oso urria da eta ondorioz, beharrezkoa da lekuko azterketa on eta sakon bati ekitea ahalik eta datu gehien batzeko. Izan ere, zaindu beharreko elementuak zeintzuk diren eta zein egoeran dauden jakitea ezinbestekoa da zaharberritze prozesuan edozein erabaki hartu baino lehen.

Egitura baten ezaugarriak zehazteko hainbat teknika ez suntsitzaile (Riggio et al., 2014) -NDT *Non-Destructive Testing*- edo erdi-ez suntsitzaileak (Tannert et al., 2014) -SDT *Semi-Destructive Testing*- garatzen edota hobetzen joan izan dira azkenaldian. Teknika hauek egur espezie desberdinen ezaugarri fisiko, mekaniko, elastiko eta erresistenteak zeintzuk diren jakiteko baliagarriak dira eta ez dute ikerketa objektuaren osotasuna erasaten. Guztiz erasotzaileak edo suntsitzaileak diren teknikak ondarea zaintzean datzan mundutik at geratu beharko lirateke. (Icomos, 1999, Icomos, 2003)

Lekuko ebaluaziorako tresnetako asko eramangarriak dira eta eraikinean bertan erabili daitezke egituren karakterizazioan. Horien artean ezagunenak, eragindako bibrazioekin eta soinu emisioekin erlacionatutakoak, torloju sartze eta kentze bidezko teknikak eta uhinen difusioan oinarritutakoak dira, nola X eta gamma izpiak, hala mikrouhinak eta erresonantzia magnetiko nuklearra erabiltzen dituztenak. Metodo hauek guztiak oso erabilgarriak dira eta informazio ugari eman ditzakete egurraren dentsitateari, modulu elastikoari edota kontserbazio egoerari buruz; usteldurak, zuloak eta bestelakoak diren asmatzeko oso erabilgarriak baitira. (Kasal eta Tannert, 2010)

Metodo horiez gain bada beste bat, Hole-drilling izenarekin ezaguna dena zientzialarien artean eta oraindik zurezko egituren ebaluazioaren arloan hedatu ez dena. Teknika honek igortzen duen informazioa oso erabilgarria da egitura-analisan, elementu zehatz baten tentsio egoera zein den jakiteko balio baitu. Ez da teknika berria, izan ere, Hole-drilling ASTM E837 estandar amerikarrean oinarritzen eta zehazten da (ASTM, 2013). Prozedura hau, zulo bat egiteak suposatzen duen material kentzearen ondorioz agertzen diren erlaxazio-deformazioak neurtu eta erregistratzean datza.

Deformazio horien balioak hiru galga edo neurgailuen bidez neurtzen dira. Hauek, ikergai den elementuaren gainazalean itsasten dira zuloa egingo den gunearen inguruan. Galgek osatutako erroseta eta zuloaren arteko erlazio dimentsionalak, bakoitzaren diametroak, zuloaren sakonera edota deformazio neurgailuen neurri eta kokapenak ASTM E837 estandarrean aholkatzen dira. Baina estandar horretan ematen diren zehazpenak material isotropikoetan bakarrik dira erabilgarriak. Zentzu horretan, ikerketa lan honek teknika hau zurezko egituretan aplikatzea posible den frogatzea du helburu eta motibaziorik nagusizat. Egurrak, material anisotropoa izanik, portaera eta ezaugarri desberdinak ditu ikertzen den norabidearen arabera.

## **2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak**

### **2.1 Zurezko egituren in situ karakterizazioa**

Ebaluazio estrukturalaren beharra hainbat motiboengatik heldu daiteke; estrukturalaren egokitasuna baieztatzeko, egitura historikoak babesteko beharrez edo erabilera aldaketa bat dela medio zama egoeraren aldaketagatik, besteak beste. Ikuskapenak egituren segurtasuna bermatzeko balio du eta askotan, beste era batera eraitsiak izango ziren elementuak, egoera onean daudela egiaztatuta lekuan mantentzen daitezke ahalbidetzen du. Jatorrizkoak diren egiturak mantenduz esanahi kultural bat babesten da, eraikitze teknika tradizionalak gorde eta egitura horren mantentzearekin lotuta datozen beste hainbat ondasun askoren mantentzea suposatzen duelarik. (Icomos, 2003)

Beste alde batetik, in situ teknika hauen erabilera oso lagungarria da materialaren zein egituraren portaerak ulertzeko, erabilera eta denboraren poderioz agertzen diren arazoak eta zurezko egituren inguruan jakintza suposatzen duen abar handi bat ikasteko. Existitzen diren egituretatik jaso daitekeen jakintza neurgaitza da eta baliogabeko laguntza da, zuzenean aplikatu daitekeena gaur egungo eraikuntzetan ere.

Egitura baten kalitate-inspekzio hori egiteko ondoren azaltzen den ordena jarraitzea gomendagarria da. (Roca et al., 2008, CIB,2010, Cruz et al., 2015)

### **2.1.1 Aurreko informazioaren bilketa**

Egitura historikoen kasuan, haren balio arkitektoniko eta kulturala bermatzeko, funtsezkoa da eraikuntza-interbentzioari ekin aurretik ikerketa lanak garatzea. Artxibo historikoetan bilaketa sakona egin behar da urteetan zehar bildutako dokumentazioa biltzeko; planoak, marrazkiak, argazkiak, iraganeko zaharberritze proiektuak, etab. Dokumentu horiek guztiak oso erabilgarriak dira nondik norakoak zehazteko hurrengo urratsak ematen hasi aurretik, urtetan zehar jasan dituen aldakuntza guztiak ezagutzeko; erabilera aldaketak, gainkargak, suteak eta besteak beste.

### **2.1.2 Hasierako ikuskapena**

Hasierako ikuskapenean ez da beharrezkoa tresneria garesti eta sofistikatua; mailua, puntzoia, argazki kamera, argiztapen ona, arkatza eta planoak nahikoak izaten dira. Funtsezkoa da ikuskapena teknikari batek egitea, zeinek begiratu behar duena argi izango duen eta gainbegirada batekin kaltetutako eremuak antzemateko gai izango den. Garrantzi handikoa da argiztapen, garbitasun eta segurtasun egoera egokiak izatea.

Mailua eta puntzoia zuloak, hutsuneak, barrunbeak, material faltak eta orokorrean, egoera txarrean dauden zonaldeak edo elementuak identifikatzeko balio dute. Ez ordea, elementuaren egoera ona baieztatzeko. Mailuaren laguntzaz soinu hutsak nabaritu daitezke usteldutako eremuetan adibidez, gero puntzoiarekin ziztatu daiteke eta materiala nola eta noraino desegiten den ikusteko.

Lehenengo ikuskapen honen ondoren, batzuetan erabaki azkarrak hartu behar dira egituraren segurtasunari buruzko zalantzak izanez gero, eraikinean sarbidea mugatu adibidez, baina normalean ikerketa sakonagoak burutu behar dira.

### **2.1.3 Egituraren lekuko karakterizazio zehatza**

Egitura zehatz neurtu eta marraztea ezinbestekoa da, elementuak eta junturak ondo ezagutzeko, eta kaltetutakoak ondo identifikatu eta kokatu ahal izateko. Hainbat metodo eta tresna erabili daitezke kalte horiek xeheago ezagutzeko; kalte-mota, kokapena eta hedadura.

Posible izanez gero, lagin bat hartu daiteke espezieia laborategian zehazteko, dentsitatea eta beste ezaugarri mekanikoen arabera. Hala ere, ondare arkitektonikoaren munduan, neurketak lekuan egitea da egokiena, alterazioak saihestuz eta egituraren benetakotasuna eta osotasuna ahalik eta gehien mantenduz. Ondoren lekuko neurketak egiteko erabiltzen diren tresna batzuk aipatzen dira:

#### **1) Hezetasun neurgailua edo xilohigrometroa**

Gailu hau hasierako ikuskapenetik eraman daiteke soinean bere erabilera erraz eta azkarrarengatik. Egurraren hezetasun maila erlatiboa (%) neurtzeko balio duen tresna da. Egurrak korrante zuzenen igarotzeari jartzen dion erresistentzia elektrikoaren arabera neurtzen da. %7-25 hezetasun tartean neurketak baliagarriak izaten dira, barruti horretatik kanpo, ordea, neurketa ez-egokiak egitea gerta liteke. Orokorrean, heze dagoen pieza bat kalteberagoa da eraso biologikoen aurrean.

#### **2) Soinu metodoak**

Hainbat gailu diferente existitu arren, denak uhinen hedapenaren azterketan oinarritzen dira egurrezko elementuen propietate mekanikoak zehazteko. Normalean neurketa piezaren bi alde kontrajarriren artean egiten da, alde batean igortzailea kokatzen da eta kontrakoan hartzailea, eta uhinak batetik bestera heltzeko behar duen denbora neurtzen da. Aldez aurretik bi neurgailuen arteko distantzia ondo definituta eta neurtua egon behar du.

Uhinaren abiadura aldakorra da zeharkatzen duen materialaren dentsitatearen arabera eta baita berezitasunen bat dagoenean ere, hau da, zuloak, barrunbeak, usteldurak edota zuntzaren

desbideratzeak daudenean. Honek, mantentze mailari buruzko informazio ugari ematen du, zenbat eta motelago hedatzen den uhina, orduan eta kalitate baxuagoa du piezak. Uhinaren abiadura motela den jakiteko aldez aurretik argi izan behar dira egoera normalean egur espezie bakoitzaren kasuan izaten diren abiadurak.

### 3) Metodo mekanikoak

Dentsitatearen balioa jakitea oso lagungarria da soinu metodoekin konbinatzeko eta egur espezie bakoitzaren ezaugarriak ezartzeko. Dentsitatea kalkulatzeko modurik zuzen eta azkarrena pisua bolumenaren artean zatitzea da, egur lagin bat hartu eta zehaztasun handiko balantza batean pisatu eta egur zatia kalibre batez neurtuta. Baina ondare historikoaren munduan lagin bat hartzea metodo suntsitzaitzat hartzen da eta gomendagarria da ondoren azaltzen diren tresnak erabiltzea:

- Penetrometroa

Gailu honek  $\varnothing 2\text{mm}$  duen orratz bat jaurtitzen du malgu batek eragindako energia konstante batez zuraren gainazalaren kontra. Orratz horrek lortu duen sarketa-sakonera neurtzen da eta horren arabera dentsitatea kalkulatu daiteke. Egia esan, lortutako balioak egur horrek orratzaren sartzeari jarri dion eragozpena adierazten du, eta ondorioz, materialaren gogortasuna eta dentsitatea jakin daitezke. Izan ere, zenbat eta gogorrago edo dentsuagoa izan, orduan eta zailagoa izango da orratzaren sartzea eta alderantziz.

Azterketa puntuala eta gainazalekoa da orratzak gehienez 40mm sartu daitekeelako, baina abantailen artean azpimarratu behar da tresna eramangarria dela, nahiko arina eta erabiltzen erraza.

Beste alde batetik, elementu baten mantentze egoera zein den jakiteko erabili daiteke. Jakina denez, narriadura bat egonez gero, zurruntasuna ere galtzen da eta zonalde horietan orratza errazago sartuko da dentsitate galera adieraziz.

- Erresistografoa

Erresistografoak aurrekoarekin antzekotasun asko dituen arren, zehaztasun handiagoa eskaintzen du. Aparatu honen orratza luzeago da eta sakonago heldu daiteke (400mm), elementuaren sekzio osoa zeharkatu dezake eta iriste zaileko zonaldeetara ere heldu daiteke, horman sartutako habe buruetara adibidez. Baina gailu honen neurketak ere puntualak dira eta gomendagarria da neurketa bat baino gehiago egitea.

Orratzak abiadura konstantez zeharkatzen du elementua, eta egurrak sarketari jartzen dion erresistentzia motorraren potentzia aldaketekin erlazionatzen da. Gailu honek aldaketa horiek erregistratzen ditu eta erresistograma batean irudikatzen ditu 1:1 eskalan.

Tresna honen erabilera deserosoagoa da pisutsuagoa delako eta trebezia maila handiagoa eskatzen duelako.

- Torloju ateragailua

Tresna honek, egurreko elementu batean aurrez sartua izan den torloju ateratzeko beharrezkoa izan den indarra neurtzeko balio du. Dentsitatearen arabera, material batek torloju ateratzeko zailtasun ala erraztasun maila desberdinak jartzen ditu. Torloju ateratzeko erresistentzia handia jartzen duen egurrak dentsitate eta modulu elastiko altuak izango ditu. Orokorrean zenbat eta zailtasun handiago izan torloju ateratzeko, orduan eta kalitate hobea izango du egur horrek.

Tresna hau ere eramangarria da eta neurketak lekuan bertan egin daitezke, baina kontutan izan behar da teknika puntual eta nahiko gainazalekoa dela.

Torloju ateratzeko erraztasunak informazio handia eman dezake kontserbazio egoera txarrari buruz. Torloju ateratzea, egurraren ezaugarri eta kontserbazio egoeraren arabera izateaz gain, torlojuaren ezaugarrien arabera ere bada, torlojuaren diametroak eta sartu den luzerak eragina dute.

#### 4) Termografia infragorria eta beste

Soinu uhinen hedapenaz gain, badira beste uhin mota batzuk X eta gamma izpiak, mikrouhinak, erresonantzia magnetiko eta, agian ezagunena dena, termografia infragorria. Zientzia hau asko garatzen ari da azkeneko urteetan eta haren erabilera ondare arkitektonikoaren munduan oso lagungarria izaten ari da ezkutuko elementuak antzemateko, elementuen barruko hutsuneak eta material faltak antzemateko eta baita ere dentsitateak asmatzeko emisibitatearen arabera.

#### 5) Dendrokronologia

Dendrokronologia, eraztunen datazioaren bidez, zuhaitza eta bere hazkunde garaia zuzenean erlazionatzen dituen zientzia da. Zuhaitz baten hazkundeak denboran zehar bizitakoa erakusten du; euriteak, izotzak, lehorreak, suteak, haize nagusien norabidearen ondorioak, etab. Teknologia hau datu base zabal bat egitea du helburu, hainbat espezie, geografia eta garai identifikatu ondoren ikertzen ari den elementu zehatza haiekin konparatu, kokatu eta datatu ahal izateko. Konparaketa ahalbidetzeko, lagina ateratzea ezinbestekoa da.

### 2.1.4 Egitura-analisisa

Garrantzitsua da egiturak zamak jasateko duen benetako gaitasuna jakitea, baina egitura historikoetan da lan erraza. Izan ere, egitura osatzen duten elementuek, maiz, ez dute era egokian lan egiten edo behintzat teoriarituz beharko luketen bezala. Horretaz gain, zaila izaten da karga egoera zein den asmatzea edota muga-baldintzak zeintzuk diren jakitea, denboraren poderioz aldatzen joan direlako. Egitura konplexuetan, juntura zailak eta arraroak topa daitezke. Normalean egin daitezkeen gauza bakarra 3D modelo bat eraikitzea da, ahalik eta gehien gerturatzen saiatuz. Ondoren intuizioz egon daitezkeen kargen efektuak kalkulatu. Egoera monitorizatzea ohiko beste baliabide bat da, egitura egonkorra den edo ez kontutan hartzeko, adibidez, agertu daitezkeen pitzadurak mugimenduan dauden zaintzeko.

Ebaluazioan erabiltzen diren tresnak egokiak dira dentsitateak, modulu elastikoak eta mantentze egoerak baieztatzeko, ez ordea, tentsio egoera zein den jakiteko. Hemen aurkeztzen den nobedadea, tentsio egoera zein den ikertzeko oso baliagarria den teknika da eta zuzeko egituretan aplikatzea proposatzen da.

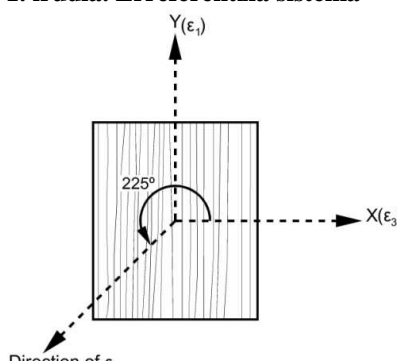
## 3. Hole-drilling teknika

Hole-drilling teknika gainazal baten erlaxazio deformazioak neurtzeko balio du. Teknikaren zehaztasunak ASTM E837 arau amerikarrean azaltzen dira, baina material isotropikoetara mugatzen da. Prozeduran, aztertzen ari den elementuaren gainean hiru deformazio-neurgailuz osatutako 40mmko diametroa duen erroseta bat itsasten da, zeinaren zentroan 18mmko diametroa duen zulo bat egingo den ondoren. Deformazio-neurgailuak ordenagailura konektatzen dira. Neurketak zuzenean ikus daitezke baita haien momentuko balioak gorde eta grafikoak egin ere software bati esker. Behin itsatsita, neurgailuen fluktuazioak 0 inguruan egonkortu direnean, zuloa egiteari ekiten zaio 16mm sakonera lortu arte. Zuloa egin ondoren, neurgailuek deformazio berri bat erdiesten dute kendu den material faltarengatik. Deformazio berri horiek egonkortu direnean, 30 minuturen buruan gutxi gora-behera, behin betikoak direla esan daiteke (Sánchez-Beitia et al., 2012).

Egurra zuntzez osaturiko eta naturaz anisotropoa den material organikoa da. Hiru norabide nagusi ditu; longitudinala, erradiala eta tangenziala. Longitudinalak, enborra eta zuntzen norabidearekin bat datorrena, ezaugarri hoberenak ditu. Beste biek, erradiala eta hazkunde eraztunei tangenziala dena, zeharkako plano osatzen dute.

Material ortotropiko, norabide nagusiak elkarri ortogonalak edo elkarzutak dituzten material anisotropoei deritze. Eta kasu hauetan, ondorengo Hole-drilling formulazioa erabiltzen da (Schajer eta Yang, 1994, Plagiario eta Zuccarelo, 2007):

**1. irudia. Erreferentzia sistema**

$$\begin{pmatrix} c_{11} & 0 & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & 0 & c_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_y \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_x \end{pmatrix} = \sqrt{E_x E_y} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$


(1) espresioan,  $c_{ij}$  elementuek *compliance* matrizea osatzen dute,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{xy}$  eta  $\sigma_x$  tentsioak dira x-y azaleko planoan,  $E_x$  eta  $E_y$  modulu elastiko nagusiak dira eta  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  eta  $\varepsilon_3$  neurgailuek zuloa egin ondoren jasotako deformazioen balioa. Zuntzaren norabideari y deritzo eta honen elkarzutari, x.  $\varepsilon_1$  neurgailua y norabidearekin bat dator,  $\varepsilon_3$  x norabidearekin eta  $\varepsilon_2$  bien arteko erdikarian, 1. irudian ikusten den bezala.

### 3.2 Saiakeren planteamendua

Saiakeren helburua (1) ekuazioa ebaztea da. Alde batetik, laborategian aplikaturiko zama jakina da eta ondorioz, tentsio egoera baita. Zuloa egin eta geroko deformazio balioak, neurgailuek ematen dituzte eta modulu elastikoen balioak ere ezagunak dira. Beraz, laborategian ezezaguna den faktore bakarra, *compliance* matrizea da.

Egitura osatzen duten elementuak asko izan daitezke eta bakoitzak funtzio desberdina betetzen du. Baina, bi dira gehien errepikatzen diren elementuak, zutabeak eta habeak. Zutabeek konpresioan lan egiten dute, habeek, aldiz, etzanak flexioan lan egiten duten. Laborategian bi egoera horiek makinan bitartez erreproduzituko dira; konpresioa eta flexioa.

Konpresio pean hiru lagin mota diferente testatuko dira; bat zama zuntzei paralelo duena, beste bat zama zuntzei elkarzuta duena eta hirugarrena, zama eta zuntzak angelu  $\theta$  bat osatzen dutelarik.

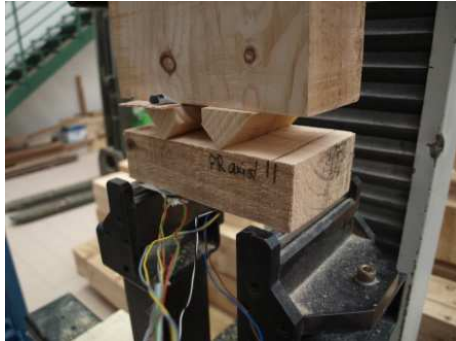
### 2. irudia. Konpresiopean testatutako Pinu Radiata D. Don hiru lagin motak



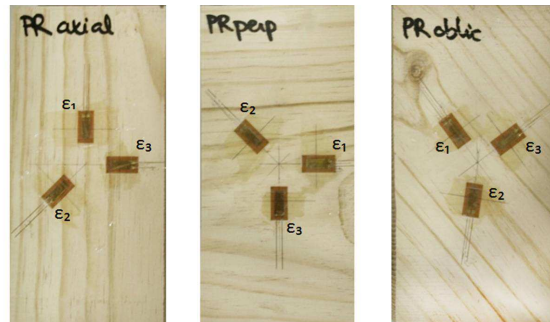
*Compliance* matrizearen lehenengo zutabea zama zuntzei paralelo dituen saiakeratik ebazten da, eragindako tentsioa  $\sigma_y$  delarik. Hirugarren zutabea zuntzei elkarzut zamaren bitartez, eragindako tentsioa kasu honetan  $\sigma_x$  izanik. Eta azkenik matrizearen erdiko elementuaren balioa ebazteko,  $c_{22}$ , lagin berezi bat saiatu behar da zuntzek eta zamaren norabidea  $45^\circ$  inguruko angelua osatzen dutelarik.  $c_{12}$  eta  $c_{32}$  elementuen balio 0 da, egurraren norabide nagusiak errosetaren norabide nagusiekin bat datozelako (Schajer eta Yang, 1994).

Beste aldetik, flexioko saiakerak UNE EN 408 (UNE-EN 408, 1995) arauak aholkatzen duen bezala, bi zama puntualekin kargatuak izan dira. *Compliance* matrizea betetzeko hiru lagin mota desberdin diseinatu dira; bat egurraren zuntzak blokeari paralelo dituenak, bigarren bat zuntzak blokeari elkarzutak dituenak eta hirugarren bat zuntzak zehar dituenak blokearen norabide luzearekin.

### 3. irudia. UNE EN 408 arabeko flexio saiakera



### 4. irudia. Flexio saiakeretan erabiliko diren hiru lagin motak; axiala, perpendikularra eta zeharra



*Compliance* matrizea ebazteko, oraingoan lehenengo zutabea zuntzak paralelo dituen blokea flexiopean saiaturiko da,  $\sigma_y$  tentsioa eraginez, hirugarren zutabea ebazteko zuntzak elkarzut dituen blokea erabiliko da,  $\sigma_x$  tentsioa eraginez, eta azkenik, matrizearen erdiko elementua ebazteko, zuntzak zehar dituen probeta erabiliko da.

Hainbat saiakera burutu behar dira, teknika zuzeko egituretan erabili daitekeela baieztatzeko. Bildutako emaitza guztiak estatistikoki landu behar dira eta bi kasuetarako, konpresio eta flexio kasuetarako, matrizeak zeintzuk diren zehaztu.

## 4. Ondorioak

Saiakera guztiak *Pinus Radiata D. Don* espeziean burutu dira, Euskadin erabat hedatuta dagoen pinua. Oraindik hasierako saiakerak baino ez dira burutu saiakerak ondo planteatu direla baieztatzeko. Konpresio zein flexio matrizeen bitartez, egur mota honek duen egitura-portaerari buruz informazioa asmatu daiteke. Teknika hau egitura-karakterizazioan aplikatzea garrantzi handikoa da, izan ere hala nola, dentsitatea, zurruntasuna, hezetasuna eta kontserbazio mailak neurtzeko gailu ugari dauden, orain arte zuzeko egituraren tentsio-egoera erreala zein den neurtzeko ez zegoen biderik.

Saiakerak burutu bitartean modulu elastikoak kalkulatzeko bidea ere asmatu da, izan ere, bibliografian eta arauetan ageri diren balioak probeta “akatsez libre” eta txikietan egindako saiakeren bitartez lortuak izan ziren.

Hemen azaldu diren probetak tamaina estrukturala dute, eta beraz, egurraren ezaugarri propioak ere, korapiloak, arrailak, zuntzaren desbideratzeak, etab. Egokia da, beraz, modulu elastikoen neurketa propioak egitea. Lagina kargan jartzean modulu elastikoak neurtzea posiblea da tentsio-deformazio kurben bitartez.

## 5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Saiakera kopurua matrizea ondo definitua egon dadin onesgarria denean, egiaztapenerako saiakera burutzeko asmoa dago. Hau da karga jakin batean zuloa egin, deformazioak neurtu eta (1) ekuazioaren bidez kalkulatzeko tentsioak bat baldin badatoz makinaz eragindako tentsioarekin, orduan matrizea baliagarria dela frogatuko da eta honekin batera teknikaren baliagarritasuna zuzeko egituretan bermatuta geratuko da.

Azken finean egur espezie bakoitzari eta elementu estruktural bakoitzari dagokion matrizeak kalkulatu direnean, teknikariek gai izango gara, eraikin historiko batean adibidez, benetako egitura baten jasateko ahalmena zein den baieztatzeko. Ondorengo ekuazioa (2) benetako



egituretan erabili beharrekoa da, hau da, modulu elastikoa, matrizea eta Hole-drilling bidez lortutako deformazioak ezagunak direnean.

$$\begin{pmatrix} \sigma_y \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_x \end{pmatrix} = \sqrt{E_x E_y} \begin{pmatrix} c_{11} & 0 & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & 0 & c_{33} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Pinus Radiata D. Don espeziarekin saiakerak amaituztat ematen direnean haritzarekin (Quercus Robur) saiakerak egingo dira, hemen azaldu diren gidak jarraituz. Izan ere, Euskal Herriko ondarea osatzen duten eraikinen artean haritzez eraikitako egiturak oso ugariak baitira.

## 6. Erreferentziak

- ASTM, E. 837 (2013): Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method.
- CIB Commission. (2010). Guide for the structural rehabilitation of heritage buildings. In CIB Publication (Vol. 335).
- Cruz, H., Yeomans, D., Tsakanika, E., Macchioni, N., Jorissen, A., Touza, M., ... eta Lourenço, P. B. (2015): Guidelines for On-Site Assessment of Historic Timber Structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(3), 277-289.
- ICOMOS (1999) Principles for the Preservation of Historic Timber Structures
- ICOMOS - ISCARSAH (2003) Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage
- Kasal, B., eta Tannert, T. (2010): In situ assessment of structural timber. RILEM state of the art reports, (7).
- Pagliaro, P. and Zuccarello, B. (2007): "Residual Stress Analysis of Orthotropic Materials by the Through-hole Drilling Method". *Experimental Mechanics* 47: 217-236
- Roca, P., Clapés, J., Caselles, O., Vendrell, M., Giráldez, P., eta Sánchez-Beitia, S. (2008): Contribution of inspection techniques to the assessment of historical structures. In L. Binda, M. di Prisco, & R. Felicetti (Eds.), RILEM Symposium on On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures-SACoMaTiS 2008 (pp. 621-632). *RILEM Publications SARL*.
- Riggio, M., Anthony, R. W., Augelli, F., Kasal, B., Lechner, T., Muller, W., eta Tannert, T. (2014): In situ assessment of structural timber using non-destructive techniques. *Materials and Structures*, 47(5), 749-766.
- Sanchez-Beitia, S., Torres, L., Barrallo, J., eta Iraola, B. (2012): In Jasienko J. (Ed.), *The hole drilling technique on timber structures: Previous tests*. WROCLAW; 53-204, WROCLAW UL OJACA BEYZYMA 20 B, Wroclaw, 00000, Polonia: DOLNOSLASKIE WYDAWNICTWO EDUKACYJNE-DWE.
- Schajer, G., eta Yang, L. (1994). Residual-stress measurement in orthotropic materials using the hole-drilling method. *Experimental Mechanics*, 34(4), 324-333. doi:10.1007/BF02325147
- Tannert, T., Anthony, R. W., Kasal, B., Kloiber, M., Piazza, M., Riggio, M., ... eta Yamaguchi, N. (2014): In situ assessment of structural timber using semi-destructive techniques. *Materials and structures*, 47(5), 767-785.
- UNE-EN 408 (1995): Estructuras de madera-Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural-Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. (Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties) *Estructuras de Madera, Editado por AENOR-Asociación Española de Normalización y Certificación-(2001), Madrid*.

## 7. Eskerrak eta oharrak

Luis Acuña Rellori eskainitako laguntza eta jakituriagatik, eta flexioko saiakerak UVA-ko Palentziako Mendi Ingeniaritzako laborategian egiteko aukera emateagatik. UPV/EHUko PES 11/32 proiektuak eskainitako laguntza ekonomikoagatik eta ondoan izan dudana jende guztiari, esker aunitz.