



Biró András, Földes Tamás, Biró Boglárka, Lublós Éva

AZ ÉPÍTŐIPARBAN HASZNÁLT FA VIZSGÁLATA CT-VEL

Absztrakt

A fa, mint építőanyag lényegileg különbözik a legtöbb szokványos építőanyagtól, hiszen egy élő organizmus feldolgozásának eredménye. A felhasználási területet nagyban befolyásolja a faanyag minősége és a kialakult hibák. A roncsolásmentes vizsgálatok előtérbe kerültek ezen a területen, hiszen számos fahiba az élő, növekvő fán alakul ki, így egyes esetekben, például egy adott populációban kialakuló hiba detektálásában és követésében a helyszíni élő fán történő vizsgálat elvégzése is előnyös lehet, de ennek megvalósítása egyenlőre (például CT vizsgálatoknál) nehézkes.

Építőanyagoknál is egyre szélesebb körben alkalmazott roncsolásmentes vizsgálati módszer a számítógépes tomográfia (CT), aminek fánál történő alkalmazási lehetőségeit tekintjük át a szakirodalom, illetve elvégzett vizsgálatok alapján.

Kulcsszavak: CT; fa; tűz; álgeszt; folyadéktranszport

TESTING TIMBER AS A CONSTRUCTION MATERIAL WITH CT

Abstrakt

Timber as a construction material is different at its core from most other construction materials, as it is result of a procecded living organism. The available usecases of timber vary based on its quality and the faults. The nondestructive tests became prominent in this field because most faults evolve in the growing plants, so in some cases for example for detecting and tracking illness in a population, it is advatageous to examine the living trees. Some of these in situ tests (CT) are troublesome though.



For construction materials, computer-tomography became widely used as a nondestructive test method. We summarized its usecases for timber based on literature and our experiments.

Keywords: CT; timber; fire; red hearthwood, liquid transport

1. BEVEZETÉS

A fa, mint építőanyag lényegileg különbözik a legtöbb szokványos építőanyagtól, hiszen egy élő organizmus feldolgozásának eredménye. A felhasználási területet nagyban befolyásolja a faanyag minősége és a kialakult hibák. A roncsolásmentes vizsgálatok előtérbe kerültek ezen a területen, hiszen számos fahiba az élő, növekvő fán alakul ki, így egyes esetekben, például egy adott populációban kialakuló hiba detektálásában és követésében a helyszíni élő fán történő vizsgálat elvégzése is előnyös lehet, de ennek megvalósítása egyenlőre (például CT vizsgálatoknál) nehézkes.

Építőanyagoknál is egyre szélesebb körben alkalmazott roncsolásmentes vizsgálati módszer a számítógépes tomográfia (CT), aminek fánál történő alkalmazási lehetőségeit tekintjük át a szakirodalom, illetve elvégzett vizsgálatok alapján.

Három területre vonatkoznak a vizsgálatok:

- álgesztesedés vizsgálata,
- folyadékfelvétel időbeni lejátszódása,
- beégési sebesség meghatározása.

Ezekon felül jelenleg ezt a vizsgálati módszert alkalmazzák ipari szinten is faanyag fajtájának azosítására, illetve főként hiba és göcs detektálásra.



2. SZAKIRODALOM

2.1. A fa tulajdonságai

2.1.1. A fa hibák

Az élő fa az sok károsító hatásnak van kitéve, a károsító hatás bekövetkezhet növényi, állati kártevőktől, valamint az időjárás viszontagságaitól. Ezek a károsodások befolyásolják az élő fa növekedését, életműködését és további felhasználását. A kialakulás oka alapján a fahibákat a következőképpen csoportosíthatjuk:

- az élő fa növekedésénél előforduló fahibák,
- növényi kártevők okozta fahibák,
- álgesztesedés,
- farontó rovarok okozta fahibák, kezelési hibák.

Ezek közül az álgesztesedés kiemelkedő jelentőségű lehet, mert a vágást megelőzően kevés árulkodó jel mutatja a jelenlétét. Az álgeszt az élő lombos fák fatestének évgyűrűhatárokat általában nem követő rendellenes, szabálytalan alakú, nagyméretű elszíneződése jellemzően valamilyen külső hatásra [1]. Az ilyen anyag száradása lassabb, ezért könnyebben reped, jobban vetemedik. Ennek köszönhetően építőipari hasznosítása tartószerkezeti szempontból korlátoltabb.

A fahibák legnagyobb része növekedés közben, kisebbik részük szállítás, feldolgozás közben keletkezik. Fahiba lehet:

- a törzs alaki hibája,
- a faanyag szövetszerkezeti hibája,
- sérülések,
- rendellenes szöveti lerakódás,
- elszíneződés,
- korhadás.



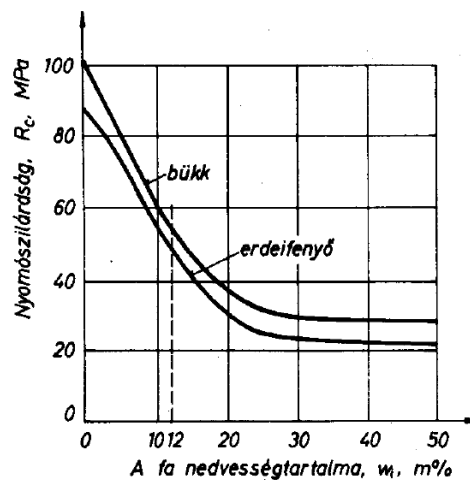
A fatörzs anyaga sokszor már a kitermelés előtt hátrányos elváltozásokat szenved, a fán hibák keletkeznek. A faanyag az élő fa növekedése, fejlődése során alakul ki a természetben lejátszódó folyamatok eredményeként. A szélsőséges időjárás, talaj- és környezetszennyezés, növényi és állati kártevők, megváltozott körülmények és egyéb hatások a növényi szervezet fejlődésének menetét folyamatosan módosítják.

A kitermelt és feldolgozott anyag további veszélyeknek van kitéve. A természetes anyaga táplálékul szolgál számos farontó szervezetnek. A tűző nap, erős fagy, változó nedvességtartalom miatt bekövetkező méret- és alakváltozás további károsodást okozhat. Mindezek mellett a beépítés után is érhetik a faanyagot különböző hatások pl. túlterhelésből adódó alakváltozások, repedések, gombák okozta károsodás, rovarok okozta károsodás, esteleg egy tűz hatása.

2.1.2 A nedvességtartalom hatása a fára

A fa mechanikai tulajdonságait nagymértékben befolyásolja a fa nedvesség tartalma. A friss, élőnedves fában a víz kétféle módon van jelen: a sejtüregekben szabad, cseppfolyós alakban, illetve a sejtfalak molekulái között megkötött formában. A fa száradásakor először a sejtüregekben található víz távozik el, ekkor a fa tömege, sűrűsége csökken, de mechanikai tulajdonságai nem változnak számottevően. E folyamat végén már csak a fa rostjai tartalmazzak vizet: ezt az állapotot rosttelítettségi pontnak nevezzük (mérsékelt égövi fáknál ez a pont 25–30% nedvességtartalmat jelent). A rosttelítettségi pont elérése utáni nedvességcsökkenés a fa mechanikai tulajdonságaira is erősen kihat, ugyanis a fa zsugorodik, és keményebbé, nehezebben megmunkálhatóvá válik. A zsugorodás, illetve a nedvességfelvétel hatásra bekövetkező duzzadás a fa anizotróp jellegéből adódóan különböző irányokban más és más mértékű. A zsugorodás és a dagadás a legkisebb a fa rostjainak irányában (0,1–0,6%), arra merőlegesen sugárirányban jóval nagyobb (3–8%), és legnagyobb húrirányban, az érintők irányában (5–18%) [2].

Az 1. ábrán a fa nedvességtartalmának és a szilárdságának összefüggését adjuk meg. Az ábrán jól látható, hogy a fa nedvességtartalma jelentősen befolyásolja a szilárdság alakulását, azaz a nedvességtartalom növekedésével a szilárdság jelentős csökkenése következik be.



1. ábra: A fa nedvességtartalmának és szilárdságának összefüggése [2]

2.1.3 A fa viselkedése magas hőmérsékleten

Tűzhatás alatt a faanyag magasabb hőmérsékleten jelentős kémiai és fizikai átalakuláson megy át. A faanyag égése kevert kémiai folyamat, ami hőbomlással és a parázssal égéssel egyaránt megmutatkozik. A hőbomlás (pirolízis) során éghető gázok fejlődnek, melyek a fa felületéhez közel lobbanhatnak lángra – ez a látható láng – míg a parázslás felületi izzást jelent.

A faanyag nedvességtartalma 100 °C-ig eltávozik. Testsűrűségtől függően a 100-200 °C közti tartományban lassú felületi elszenesedés figyelhető meg. Az elszenesedett réteg (kéreg) alatt megkezdődik a termikus bomlás, amikor gyúlékony gázok távoznak a fából. A fa lobbanáspontja (200-250 °C) elérése után a felszabaduló éghető gázok külső gyújtóhatásra a fa felületéhez közel egy pillanatra lángra lobbannak. Az eltávozott gázok folytonos égése a 250-300 °C tartományában következik be, ekkor a hőbomlással távozott és gyújtóforrással aktivált gázok folyamatosan égnek. Ekkor a felület parázssal égése is látható. A fa öngyulladásra 330°C-ra tehető, ekkor a hőbomlással távozott gázok külön gyújtóhatás nélkül, csak a hőmérsékletük okán meggyulladnak és folyamatosan égnek. 600-700 °C környékén a fafelület már csak parázssal ég, ennek égés-terméke, a faszén látható izzás közben a tűzben [3].

Az égés során a fa keresztmetszete folyamatosan elszenesedik, a keresztmetszet csökkenést a beégés mélységével szoktuk megadni.



2.2 A CT alkalmazási lehetőségei az építőanyagokon

A CT (Computed Tomography) a szakirodalomban gyakran számítógépes tomográfia néven ismeretes, mely a radiológiai diagnosztika egyik ága. A számítógépes tomográfia (Computed Tomography – CT) vizsgálatokkal a minták háromdimenziós elemzése válik lehetővé.

Egy minta kis léptékű (mm) térbeli belső felépítéséről a legtöbb módszerrel nehéz megbízható módon, roncsolásmentesen képet alkotni. Hagyományos optikai vagy elektronmikroszkóppal roncsolásmentes módon csak felületi kép készíthető. A minta felszeletelése után lehetőség van egy-egy vékony szeletről további képek készítésére is, de ez meglehetősen időigényes, és a szeletek elkészítésekor megváltozhat a minta belső szerkezete, így a három-dimenziós eredeti belső szerkezetre a legtöbb esetben nehéz megbízható módon következtetéseket levonni. A hagyományos röntgenképek tartalmazzák a teljes három-dimenziós belső szerkezet vetületi képét, azonban egyetlen ilyen felvételtől nem nyerhető ki a mélységi információ. A röntgen számítógépes tomográfiával (X-ray computed tomography, CT) lehetővé válik a teljes háromdimenziós belső szerkezetről a képalkotás anélkül, hogy szükség volna a minták előkészítésére vagy kémiai fixálásra.

A CT készülékek röntgensugárzást használnak a felvételek elkészítéséhez, de a sugarak nem filmet exponálnak, hanem detektorok segítségével érzékelik a röntgensugarakat, majd a detektorokból nyert elektromos jelekből készül el számítógép segítségével a rekonstruált keresztmetszeti kép. A CT alapelve, hogy a vizsgált testet több irányból is meg lehet röntgenezni, majd a létrejött abszorpciós profilokból egy számítógép segítségével rekonstruálható a test keresztmetszete. Ahhoz, hogy több irányból is felvétel készülhessen a vizsgált objektumról, rendszerint a sugárforrást mozgatják a test körül, míg a mozgását követi a detektorsor az átellenes oldalon.

Felmerül a kérdés, hogy vajon működhet-e ez a vizsgálati módszer építőanyagokon is, nem csak emberi testeken. A válasz igen, bár az építőanyagok sűrűségtartománya más, mint az emberi testé, viszont nagyban közelíti a csontok sűrűségét. Így lehet az, hogy eredményes vizsgálatokat végezhetnek, például építőanyagokon is (beton, aszfalt, stb.) A kép feldolgozása során számos szűrőt alkalmaznak, azért, hogy javítsák a képminőséget, mert a rekonstrukció közben zavaró árnyékok jelenhetnek meg a képen, továbbá elmosódások képződhetnek (például



a CT mozgása miatt). Ezeket az eljárásokat a vizsgált objektum ismeretében speciálisan arra a felhasználásra állítják be [4].

Habermehl és Ridder [5] írták le először a computer-tomográfiát, mint olyan roncsolásmentes képalkotó eljárást, mely alkalmas lehet fa törzsszeletek vizsgálatára. Habermehl és Ridder [6] mérést végeztek faegyedeken. Mivel a gamma-sugárzás abszorpciója főként a sűrűségtől, a víztartalomtól és annak törzsbeni eloszlásától függ, így Schwartz-Sporenberger [7] és Wiebe [8] erre alapozva megalkották a fafajspecifikus tomogramot.

Fix CT berendezést több kutató is tesztelt különböző célokkal. Alkalmazták már a röntgensugárzáson alapuló vizsgálati módszert víztartalom meghatározásra, évgyűri vizsgálatra, különböző fahibák meghatározására. Az előrelépést a fák vizsgálatában mobil CT berendezés alkalmazása jelentheti, hiszen ilyen esetben helyszínen az élő szervezet is vizsgálható, de az elérhető felbontás jelenleg nem közelíti meg a helyhez kötött eszközökkel készített felvételekét.

A kutatási terület jelentőségét és az ipari alkalmazás fejlődését jól mutatja az elmúlt évtizedben is folyamatosan bővülő felhasználási területről tanúskodó publikációk megjelenése. Többek között alkalmazzák faanyag sűrűségének meghatározására [9], hiba és göcs keresésre [10]–[12], valamint fa fajta beazonosításra is [13].

3. CT ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ÉPÍTÉSI FAANYAGON

3.1. Álgesztés vizsgálat CT-vel vagy MR-rel

Az álgesztés mértéke, milyensége a faállomány értékét jelentősen befolyásolja és ezért széles körben vizsgált jelenség. A '90-es évektől új lendületet és irányt vettek az álgesztéskutatások. Az élő szervezet képi megjelenítése csak a vizsgált test és a képalkotó berendezés közötti energiaátadással lehetséges. Ez az energia az esetek többségében valamilyen elektromágneses-, akusztikai- vagy röntgen-sugárzással történik, amelyet a képalkotó előállít és a szervezettel alkalmas módon közöl. Ezeket képalkotó eljárásoknak nevezzük. A szervezetre vonatkozó információkat a detektált válaszenergia tartalmazza, amelyet lokalizálva jön létre a kép.



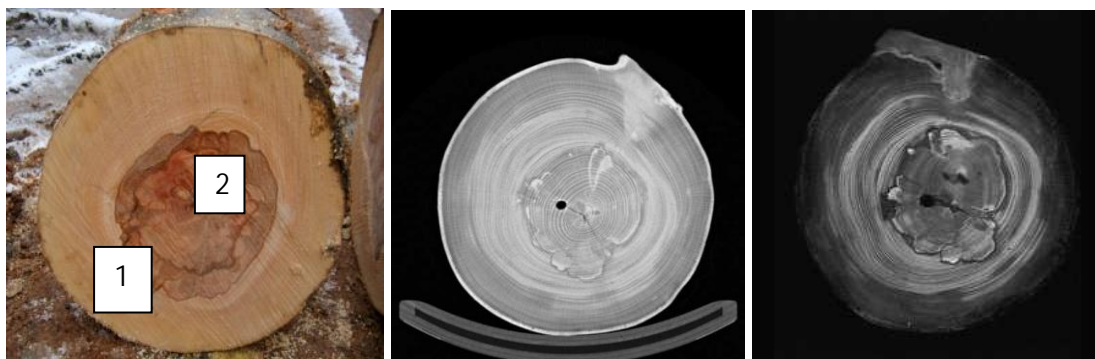
Kutatásunk első részében olyan fatörzs elemet vizsgáltunk, aminek a középső része álgesztesedést tartalmazott, az álgeszt rész a fatörzsön szabad szemmel is jó látható volt (2. a ábra). A CT (2. b ábra) és az MR CT (2. c ábra) felvételeken egyértelműen kirajzolódik az álgesztesedett rész.

A keresztmetszeti CT és MR felvételeket vizuálisan összehasonlítva a korongon látható álgeszt rajzolattal,

megállapíthatjuk, hogy:

- az alkalmazott módszer az álgeszt jelenlétét kimutatja,
- az álgesztesedés határa éles, jól kivehető, megegyezik a valós képpel,
- az álgeszt megléte könnyen felismerhető, a kiértékeléshez nem szükséges hosszas kiértékelési gyakorlat,
- a törzsszelet teljes területéről egységesen jó minőségű információt kapunk,
- kiváló lehetőséget biztosít az évgyűrűszerkezet és a kéregszerkezet vizsgálatához is.

A 3. ábrán a fa keresztmetszetében a sűrűség eloszlást adjuk meg. Az 1-gyel és 2-vel jelölt helyeken a nedveségtartalom jelentős csökkenését tapasztalhattuk, ezt feltehetőleg a fa kisebb sűrűsége igazolhatja, ami a fényképfelvételen a színében látszik (sötétebb színű). A CT felvételen és a MR felvételeken ezek a részek szintén sötétebben jelennek meg, hiszen a kisebb sűrűségű részek kevésbé verik vissza a sugárzást.

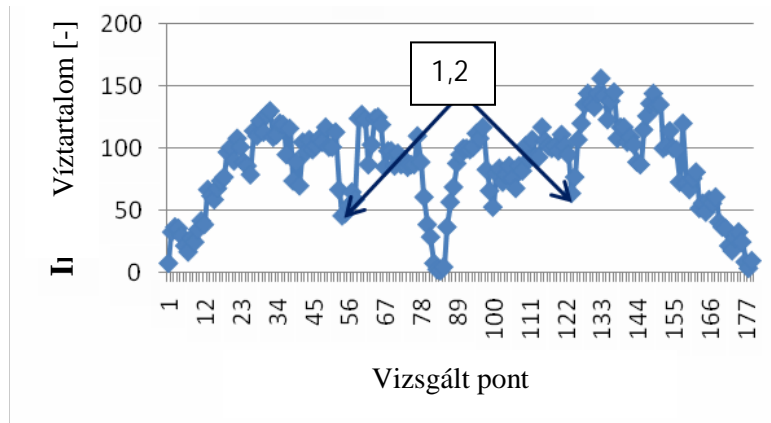


a) fénykép

b) CT felvétel

c) MR felvétel

2. ábra: Hibás fatörzs vizsgálata



3. ábra: A fa keresztmetszetében a sűrűségeloszlás

3.2. Vízfelszívás vizsgálata CT-vel

Ezen mérési technológia során azonos pozíciójú megismételt alapmérést végzünk a kivákuozott mintán, felszívás közben és a telített mintán (4. ábra).

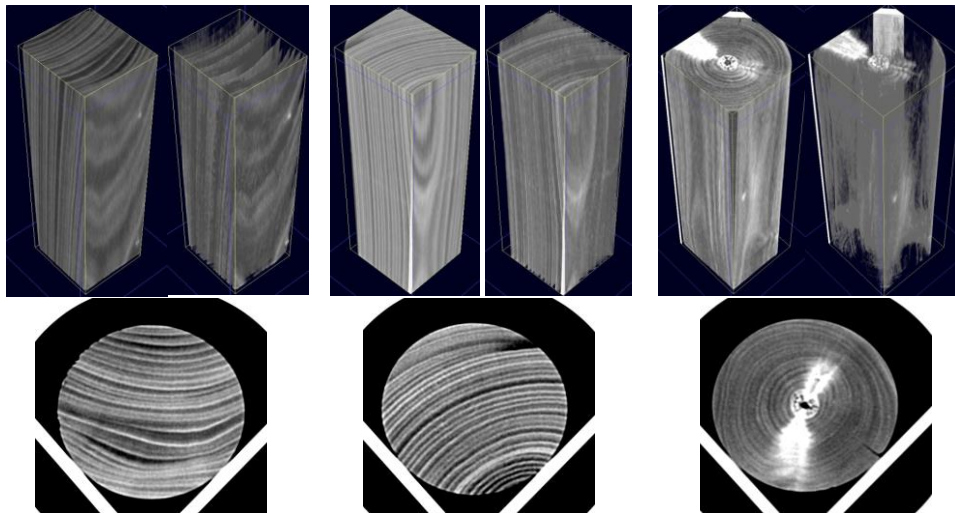
A CT-mérés során először a próbatesteket feltöltés nélkül vizsgáltuk majd a mintákat egy speciális készülék segítségével telítettük vízzel. A fa vízfelszívóképességét jelentős mértékben meghatározza a fa rostiránya.



4. ábra: A próbatestek elhelyezkedése a CT mérés alatt



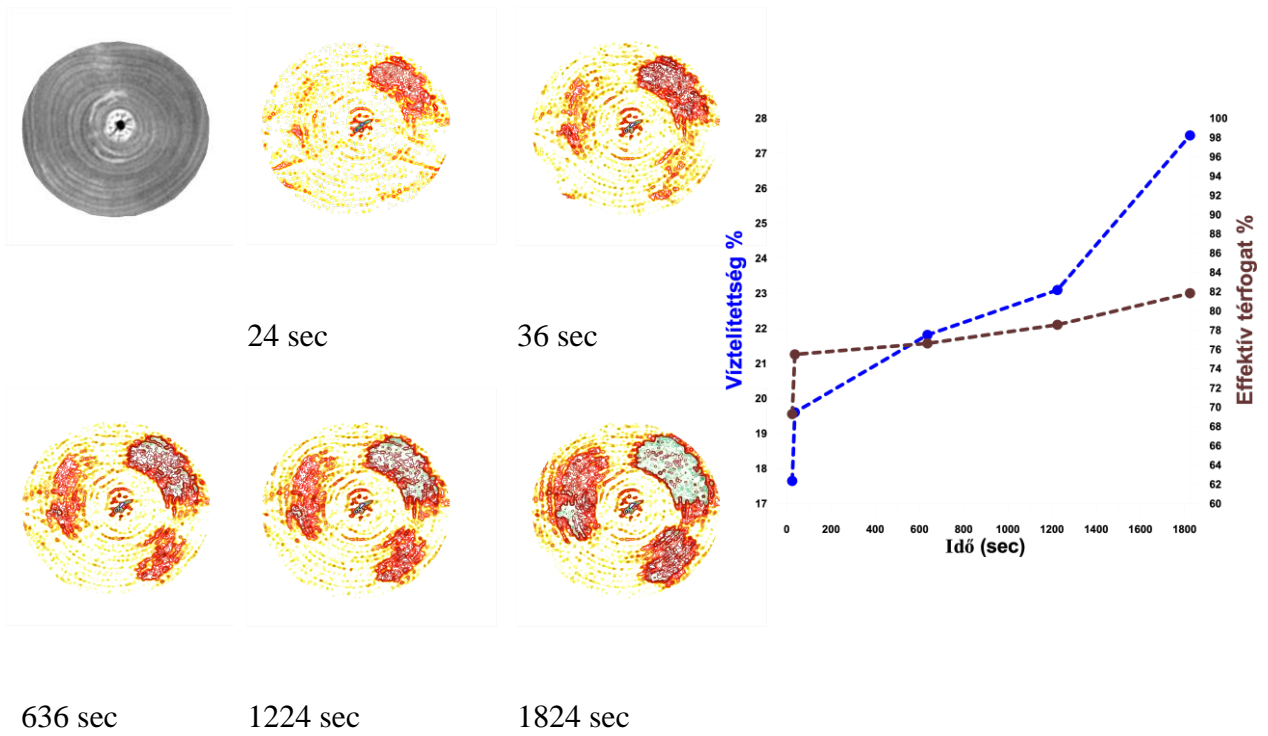
A kivákumozott mintán jól láthatók a farostok és a különböző részek pl. a jobb szélső ábrán a bél rész eltérő sűrűségei (5. ábra).



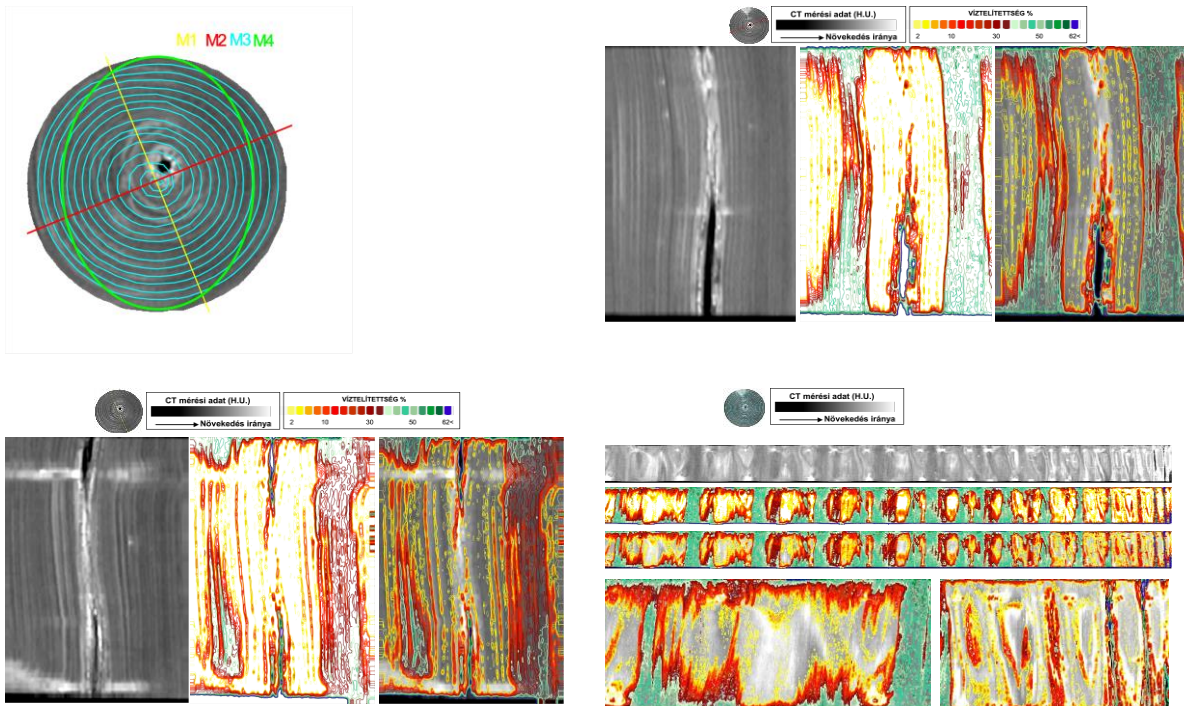
5. ábra: A kivákumozott mintáról készült CT felvételek

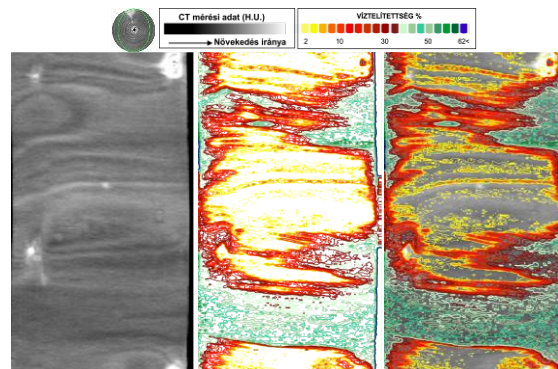
A vízfeltöltéses vizsgálattal nagy részletességű információt kapunk a fentiek alapján az anyag viselkedéséről a feltöltő folyadékra vonatkozóan, ami jelen esetben a víz. Ha időben eltolva készítünk CT felvételeket, akkor a víztelítés üteméről is kaphatunk információt. A 6. ábrán egy keresztmetszet vízfelvételek időbeli alakulása látható. Jól látható, hogy az idő előrehaladtával az egyes részek jobban telítődnek a telítődés mértékét és ütemét meghatározza a fa belső szerkezete. A diagramon 6. ábra jól látszik, hogy a vízfelvétel üteme időben változik. Ez a vizsgálati módszer kiválóan alkalmas lehet a telítést igénylő favédő szerek gyártáskori vagy szerelés előtti ellenőrzésére, illetve a telítéshez használt gépsor kalibrálására.

A 7. ábrán a vízfelvétel alakulását adjuk meg a különböző metszetek mellett. Jól látható, hogy a repedések és az eltérő rostirány jelentősen befolyásolja a vízfelvétel alakulását.



6. ábra: A vízelítődés alakulás az idő függvényében





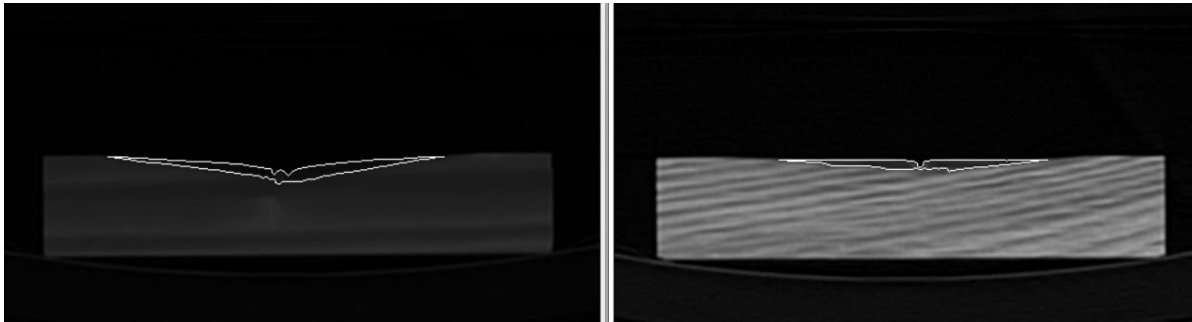
7. ábra: A vízfelvétel alakulása a különböző metszetek mentén

3.3. Tűz hatására bekövetkező leromlás vizsgálata CT-vel

A fa beégés vizsgálatát az MSZ 9607-1:1983-ban [14] meghatározott Lindner-módszerrel végeztük el. A módszer a fa- és fahelyettesítő anyagok égéskésleltető szerrel való kezelésének építéshelyszíni hatékonyság-ellenőrzését szolgálja, az égetés bekövetkeztével létrejövő tömegvesztés alapján.

Mivel kutatásunk célja kezdetben az volt, hogy választ kapjunk arra, hogy a különböző védőszerek miként befolyásolják a faanyagok égését, égési tulajdonságait, így a fentnevezett szabványban rögzítettek alapján végeztük a próbatestek égetését.

A vizsgálat lényege, hogy a 8. ábrán látható berendezés égető tömbjére 1 gramm hexametiléntetramin ($C_6H_{12}N_4$) pasztillát helyezünk, majd a pasztillát meggyújtva egy acél kürtöt teszünk köré, és a 100x100x10 mm-es méretű fa próbatestet a 80 mm átmérőjű környílással ellátott acéllemezre helyezzük.



9. **ábra:** A beégett fa keresztmetszetéről készült CT felvételek a beégett rész lehatárolásával

1. **táblázat:** A CT mérés eredményei (dimenzió nélkül)

Minta Térfogata	127862,9517
Kiegészített minta térfogata	134454,7485
Kiégett rész térfogata	2556,02417
Égetett rész térfogata	2568,493652
Teljes égésben érintett rész	5116,168213

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során a jellemző CT alkalmazási módokon felül (hibakeresés, nagy mennyiségű mintán végzett automatikus tömegeloszlás mérés, fafaj azonosítás) vizsgáltuk a CT mérések további alkalmazási lehetőségeit és méréseket végeztünk ezek alkalmazhatóságának igazolására.

Vizsgáltuk az álgesztesedés detektálásának lehetőségét. A keresztmetszeti CT és MR felvételeket vizuálisan összehasonlítva a korongon látható álgeszt rajzolattal, megállapíthatjuk, hogy:



- az alkalmazott módszer az álgeszt jelenlétét kimutatja,
- az álgesztesedés határa éles, jól kivehető, megegyezik a valós képpel,
- az álgeszt megléte könnyen felismerhető, a kiértékeléshez nem szükséges hosszas kiértékelési gyakorlat,
- a törzsszelet teljes területéről egységesen jó minőségű információt kapunk,
- kiváló lehetőséget biztosít az évgyűrűszerkezet és a kéregszerkezet vizsgálatához is.

Vizsgáltuk a folyadékfelvétel időbeni lejátszódását ismételt CT felvételek összehasonlításával. A vízfeltöltéses vizsgálattal nagy részletességű információt kapunk a faanyag viselkedéséről a feltöltő folyadékra vonatkozóan, ami a vizsgálataink során víz volt. Ha időben eltolva készítünk CT felvételeket, akkor a víztelítés üteméről is kaphatunk információt. A kapott eredmények alapján jól látható, hogy az idő előrehaladtával az egyes részek jobban telítődnek a telítődés mértékét és ütemét meghatározza a fa belső szerkezete. Ez a vizsgálati módszer kiválóan alkalmas lehet a telítést igénylő favédő szerek gyártáskori vagy szerelés előtti ellenőrzésére, illetve a telítéshez használt gépsor kalibrálására.

Végezetül vizsgáltuk a régebben építéshelyi ellenőrzéshez használt Lindner beégés vizsgálatnak kitett próbatesteket (beégési sebesség vizsgálat) CT-vel. A tűz hatására a faanyagon beégés keletkezik, aminek csökken a sűrűsége. Tekintettel arra, hogy a beégés nem egyenletes ezért a Lindner módszerrel a beégési mélységet csak közelítő jelleggel lehet meghatározni. Jelen kutatásban a Lindner-módszerrel történő mérés után a próbatestekről CT felvételt készítettünk, mivel ezzel a lecsökkent sűrűségű károsodott részt jól lehet látni, és ez alapján vizsgáltuk a beégés jellegét. A CT felvételek segítségével a beégett rész geometriáját pontosan, 3 dimenzióban meg lehet határozni.

Ilyen módon vizsgálva az anyagot a későbbiekben kiterjeszhető a lokális károsodás a károsodás alakja (3 dimenzióban pontosan megismert) és a közölt hőmennyiség alapján végtelen felületre, amivel vélhetően megbízhatóan megadható a beégési sebesség, kisméretű próbatestek felhasználásával. Ezutóbbi kiterjesztése a vizsgálatnak egy további kutatásunk témáját képezi.



5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció alapjául szolgáló kutatás a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen készült a „TKP2020, Intézményi Kiválósági Program” NKFI pályázat támogatásával a Víz tudományi és Katasztrófavédelmi tématerületen (BME IE-VÍZ TKP2020).

HIVATKOZÁSOK

- [1] ERFARET, „Nyugat-Magyarországi Egyetem - Fahiba adattár - Álgeszt”, 2006.
http://fahiba.fmk.nyme.hu/20_algeszt.htm (elérés nov. 03, 2020).
- [2] G. Balázs, *Építőanyagok és kémia*. Műegyetemi Kiadó, 1997.
- [3] L. Balázs, György és mtsai., „Szerkezetek tervezése tűzterherre az MSZ EN szerint (beton, vasbeton, acél, fa)”, *Magy. Mérnökkamara Tartószerkezeti Tagz. (Oktatási segédlet)*, 2010.
- [4] K. Kapitány, „Objektumrekonstrukció sorozatfelvételekből”, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2015.
- [5] A. Habermehl és H. W. Ridder, „Computer Tomographie am Baum Teil I: Erkennen der Baumfäule und Gerätekonzept”, *Materialprüfung*, köt. 10, o. 325–329, 1992.
- [6] A. Habermehl és H. W. Ridder, „Computer Tomographie am Baum Teil II: Elektronische Komponenten, Systemsteuerung und Anwendung”, *Materialprüfung*, köt. 11–12, o. 357–360, 1992.
- [7] V. Schwartz-Spornberger, „Untersuchungen an Bäumen mit Hilfe eines Computer - Tomographen, Dissertation”, Universität Marburg/Lahn, 1990.
- [8] S. Wiebe, „Die Bedeutung der Holzfeuchte für die Wundbehandlung”, 1991.
- [9] P. Jacquin, F. Mothe, F. Longuetaud, A. Billard, B. Kerfriden, és J. M. Leban, „CarDen: A software for fast measurement of wood density on increment cores by CT scanning”, *Comput. Electron. Agric.*, köt. 156, o. 606–617, jan. 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.12.008.



- [10] F. Longuetaud és mtsai., „Automatic knot detection and measurements from X-ray CT images of wood: A review and validation of an improved algorithm on softwood samples”, *Comput. Electron. Agric.*, köt. 85, o. 77–89, júl. 2012, doi: 10.1016/j.compag.2012.03.013.
- [11] A. Krähenbühl, B. Kerautret, I. Debled-Rennesson, F. Mothe, és F. Longuetaud, „Knot segmentation in 3D CT images of wet wood”, *Pattern Recognit.*, köt. 47, sz. 12, o. 3852–3869, dec. 2014, doi: 10.1016/j.patcog.2014.05.015.
- [12] J. Van den Bulcke, B. Masschaele, M. Dierick, J. Van Acker, M. Stevens, és L. Van Hoorebeke, „Three-dimensional imaging and analysis of infested coated wood with X-ray submicron CT”, *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, köt. 61, sz. 3, o. 278–286, ápr. 2008, doi: 10.1016/j.ibiod.2007.09.004.
- [13] K. Kobayashi, S. W. Hwang, T. Okochi, W. H. Lee, és J. Sugiyama, „Non-destructive method for wood identification using conventional X-ray computed tomography data”, *J. Cult. Herit.*, köt. 38, o. 88–93, júl. 2019, doi: 10.1016/j.culher.2019.02.001.
- [14] MSZ 9607-1:1983, „Égés-késleltető szerrelt kezelt fa és fahelyettesítő anyagok vizsgálata. Az égés-késleltetés hatékonyságának vizsgálata és minősítése Lindner-módszer alapján”, 1983.
- [15] L. Németh, „9. faszervezetek tűzállóságának tervezése fejezet 9.3 Az égés-késleltető anyagok hatásmechanizmusai alpont”, in *Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban*, Budapest: Agroinform kiadó, 2003.

Biró András

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials
and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

biro.andras@emk.bme.hu

ORCID: 0000-0001-8373-7291



Földes Tamás

Tomogeo Kft. 5000 Szolnok, Madách utca 26.

Tomogeo Ltd. H-5000 Szolnok, Madách utca 26.

t.foldes@t-online.hu

ORCID: 0000-0002-2682-509X

Biró Boglárka

SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. Lábodi Vadászterület, 7500 Nagyatád, Szabadság tér 9.

SEFAG Management and Wood Industry Share Co. Lábod-Forest District, H-7500 Nagyatád, Szabadság tér 9.

biro.boglarka@sefag.hu

ORCID: 0000-0001-7695-4706

Lublóy Éva

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

lubloy.eva@emk.bme.hu

ORCID: 0000-0001-9628-1318