

## Kérdések a faszerkezetű műemlékek statikai szakértői vizsgálatainál

### Questions in the expert static studies of wooden monument structures

Dr. KOPENETZ Lajos György <sup>1</sup>, Dr. GOBESZ Ferdinánd-Zsongor <sup>2</sup>

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék,  
Románia, 400020 Kolozsvár, C. Daicoviciu (Bástya) u. 15, 3/305,

<sup>1</sup> ludovic.kopenetz@mecon.utcluj.ro ; <sup>2</sup> go@mecon.utcluj.ro

#### ABSTRACT

*The expert static study of wooden-structured monuments requires a lot of caution because the intrinsic negative inner structural properties (swelling, shrinkage, cracking) of any wood type are not favourable for the mechanical properties. Such work requires not only structural knowledge but also relevant experience. Structural intervention and repairs must be carried out with great care and caution on the basis of the expert report, as in addition to preserving values, the usability and long-term preservation of the buildings must also be ensured.*

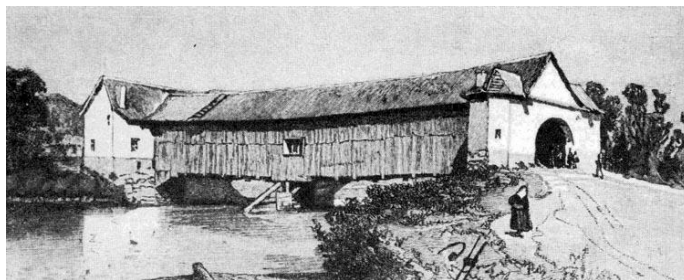
#### KIVONAT

*A faszerkezetű műemlékek statikai szakértői vizsgálata sok körültekintést igényel, mert a fa egyes szerkezetéből adódó negatív tulajdonságai (dagadás, zsugorodás, repedés), nem kedvezőek a mechanikai tulajdonságokra. Ilyen munkákhoz nemcsak szerkezeti tudás, hanem megfelelő tapasztalat is szükséges. A szerkezeti beavatkozást és a javításokat a szakértői jelentés alapján nagy műgonddal és körültekintéssel kell végezni, mivel az értékmegőrzés mellett az épületek használhatóságát és tartós állagmegővését is biztosítani kell.*

**Kulcsszavak:** fa, szerkezet, történelmi építmény, vizsgálat.

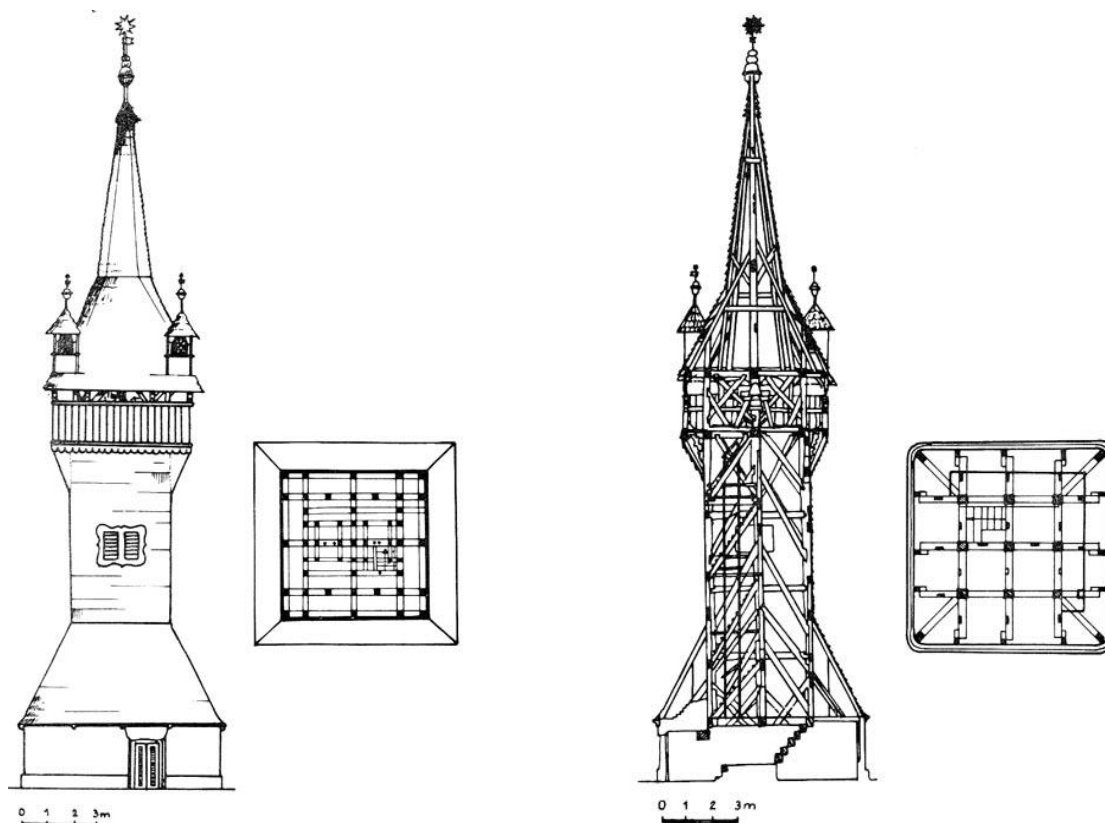
#### 1. BEVEZETÉS

A legtöbb történelmi templom tornyaihoz és fődémeihez faszerkezetet alkalmaztak, így a történelmi erdélyi templomok (felekezeti különbség nélkül) karcsú vagy zömökebb tornyai és fődémei kivétel nélkül faszerkezetűek. Szintén Erdély szerte faszerkezetűek a haranglábak is. De Erdélyben sok nagynyílású (35 – 50 m), faívhid is volt egészen a 1900-as évek elejéig (Homoród, Fogaras, Nagyszében, Torda, Segesvár, stb.). Ezek a hidak vonórúddal voltak ellátva és a merevítést egy rácsos szerkezettel oldották meg (1. ábra).



1. ábra

*A tordai fedeles híd az Aranyos felett [1] (1804-1815 között épült).*



2. ábra

*Egy faszervezetű harangtorony homlokzata és a galéria alaprajza (balra), metszete és az eresz alaprajza (jobbra) [1].*

A faszervezetek jól viselkednek gravitációs és földrengési igénybevételekre, aránylag alacsony tömegük és kedvező rugalmasságuk miatt. A faszervezetű műemlék tartószerkezetek károsodásait több tényező okozhatja: tűzkár, biológiai hatás, mechanikai típusú hatás és zsugorodásból eredő hatás.

Habár a mai változó világban az építőmérnöki szakterület kettévált egy elméleti és egy gyakorlati ágon, az épületek szakértői vizsgálatánál az egység megmaradt. Egy faszervezetű műemlék épületnél a szükséges építőmérnöki szakértői vizsgálat a helyreállítás vagy épület átalakítás során a felbukkanó feladatok, kérdések sokaságával találkozunk. Ezekre az esetekre csak a szemléleten alapuló vizsgálat marad, mint biztos tényező. A szemléleten alapuló mérnöki vizsgálat a statikai (számítási) és tartószerkezeti rész egységében marad csalhatatlan [2].

## 2. VIZSGÁLATI IRÁNYOK ÉS KÉRDÉSEK

A faszervezet javítása a pontos felmérés, építészeti tanulmány, biológiai vizsgálat és statikai szakértői jelentés alapján elkészített tervdokumentáció alapján történik. A legtöbb esetben nagyon sok előre nem látott műszaki gond adódik, ami újabb statikai vizsgálatokat igényel.

A faszervezetű födémek szakértői vizsgálata a következő lépéseket feltételezi: szerkezet azonosítás, kárvizsgálat és állapot-meghatározás, majd helyszíni vizsgálatok [3]. A feltárás feltételezi, hogy a födémrendszer világosan megállapítható legyen.

A helyszíni vizsgálatok egyik nehéz kérdése a beépített szerkezeti fa hibáinak észrevétele, amit sokszor a biológiai kutatás nem vesz észre. Ilyen típusú hibák: a törzs alakja, a fatest szerkezete, térfogatváltozás, rovarok és gombák okozta sérülések.

A faszervezetek megítélése lehetetlen a fa tulajdonságainak kellő ismerete nélkül. Mint köztudott a fa belső szerkezete sejtek sokaságából áll. Ezek a sejtek különböző alakúak és rendeltetésük sokrétű: a fatesten belüli víz, tápanyagszállítás és elraktározás, valamint a fa merevítése, szilárdítása. Így a fatest, vagyis a törzs kéreg nélküli része inhomogén és anizotrop anyag. A sejtek által képződött farostok és rostkötegek a törzs mentén koncentrikusan helyezkednek el. A farostok

hosszirányú vastag falú sejtkepződmények, szilárdítási szereppel, tehát tápanyagot nem szállítanak. A rostok, rostkötegek formájában, a fa hosszirányában vannak kör alakban csoportosítva a keresztmetszet mentén.

A fa azonban úgy nő, hogy közepe összenyomódik, széle pedig megnyúlik, így saját feszültségállapot alakul ki. Megvizsgálva a tülevelű meg a lombos fák mikro-szerkezetét, az inkrusztáló anyagok típusait, melyek a sűrűség és szilárdság arányában jelennek meg, a tülevelű fák előnyösebbek. Ilyen szempontból Európában meg Amerikában is kiemelkedik a lucfenyő. Az európai lucfenyő gyanta tartalma nagyobb, mint az amerikaié, de a hibák szempontjából (szálferdeség, csomópontok) messze elmarad az amerikaitól. Így, egyes faszerkezetű USA-beli műemlék szerkezetnél nem ritka a 12 – 14 m hosszú hibamentes gerenda.

A tartószerkezeti célokra használhatók puhafák (lucfenyő, jegenye, erdei- vagy feketefenyő, vörösfenyő, nyárfa) vagy keményfák (tölgy, akác, bükkfa). A bükkfát csak akkor lehet elfogadni, ha megfelelően kezelték rovarkár és korhadás ellen. Megjegyzés, ha bükkfát találunk a műemlék épületek tartószerkezetében, a vizsgálatokat sok körültekintéssel kell elvégezni és a biológiai kutatás mellett laboratóriumi szilárdságtani vizsgálatot is kérni kell.

A fa fizikai tulajdonságai (a faanyag színe, tömege és sűrűsége, a fában levő víz mennyisége, az alakváltozási tulajdonságok, a hővezetés és hő nyelés, stb.) és a mechanikai tulajdonságai (a faanyag rugalmassága, szilárdsága, szívóssága, keménysége, hasíthatósága, stb.) jelentős eltéréseket mutatnak a három anatómiai irányban (rostirány, sugárirány és húrirány).

A fa zsugorodása és dagadása függ a fa nedvességtartalmától meg a környező levegő nedvességtartalmától. E jelenség a tartószerkezeti fa három főirányában nagy eltérést mutat (a szálirányban 0,1 – 0,3%, érintőirányban 8 – 10%, míg sugárirányban 4 – 6%). A fa szilárdsága húzásra nagyobb, mint nyomásra, így ha egy faoszlopot az önsúlyán kívül a szél is terheli, a teherbírás a nyomott szélső szál tönkremenetelével merül ki.

A fa teherbírása függ a nedvességtartalom mellett a térfogatsúlytól. Így kb. 30% nedvességtartalom felett a szilárdság gyakorlatilag már nem csökken. A tartós terhelés nagysága sok esetben szerkezeti törést provokált. Így például, ha a tartós statikus terhelés kb. 75 – 80%, már törést idézhet elő. A szerkezeti fák víztartalma legfeljebb 30% lehet, de ha enyvezett szerkezet is van, akkor ez az érték csak 23%. A fa rugalmassági tényezője a fa típusától és a nedvességtartalomtól függ. Hatalmas eltérés van a rostokkal párhuzamos ( $100000 \text{ daN/cm}^2 - 150000 \text{ daN/cm}^2$ ) és rostokra merőleges értékek között ( $3000 \text{ daN/cm}^2 - 8000 \text{ daN/cm}^2$ ). Így a gyakorlati statikai számításnál a rugalmassági tényező a rostokkal párhuzamos tartóknál a  $100000 \text{ daN/cm}^2$ , illetve a rostokra merőleges tartóknál a  $3000 \text{ daN/cm}^2$  értékkel minden típusú fára és nedvességi esetre érvényes.

Egy másik érzékeny téma, a faanyagok fáradása, vagyis amikor egy szerkezeti elemet sokszor (alacsony szinten) terhelünk és egy idő után eltörik. Ezért, bizonyos szerkezeteknél szükség van a tartós szilárdság biztos ismeretére, a fárasztó kísérleti eredményből (kb. 50000 igénybevétel).

Az öregedéssel járó anyagminőségi romlás mellett, lehetnek helytelen beavatkozás, vagy rossz terhelés eredményei is.

A csavaros fakötéseknél nagyon fontos, hogy a helyszíni vizsgálatnál megfigyelni az alátétlemezek egyenlőtlen berágódását a fába illetve, hogy a csavar meghúzása nem elegendő, mert így a kapcsolt szerkezeti fák elmozdulásának ismerete sok nehézséget feltételez. Ilyen típusú jelek mutatják a fabetétes falkötési hibákat is.

A történelmi fa alapú szerkezeteknél az egyik jól bevált szerkezeti erősítés a ragasztás alkalmazása a pótló faelemek kapcsolásának megoldásánál, hogy a beavatkozás ne legyen látható. A mai ragasztó anyagok a farostok közti eredeti tapadás nagyságát képesek létrehozni.

A hegyes és rendkívül magas faszerkezetű toronysisakot, hogy a szélre stabil legyen, általában mélyen beviszik a torony belsejébe és ott lehorgonyozzák. A történelmi toronyfedeleknél általában  $60^\circ - 75^\circ$ -nál nagyobb hajlásszögű nyeregfedél jelentkezik, így nagy körültekintéssel kell megoldani a szélterhelési stabilitás kérdését, illetve milyen mélyen kell a főfalakhoz kötni, figyelembe véve a jelentősen megváltozott szélterhelési értékeket Európa szerte. Az ilyenszerű szerkezetnél az egyik legnehezebb kérdés a csavarás elleni merevítés megoldása. Egy javasolható és bevált lehetőség az andráskeresztek bevezetése, minden oldalon, különböző elképzelt vízszintes irányban kellően merevített emeletek közt. A torony globális stabilitását nagymértékben növelhetjük, ha ferde húzott acél rudakat vagy köteleket építünk be figyelve, hogy a feszítéssel az eredeti zérus kezdeti merevség növekedjék az elmozdulások hatására. Szintén a toronyszerű szerkezeteknél, ha a csúcsot alátámasztó

függőleges oszlopot (császárfát) kell kicserélni akkor lehetőleg az új faoszlopot, mint függőoszlopot ajánlatos kiképezni, mert a hosszú császárfá idővel elvesztheti az eredeti alakját.

A történelmi nagyméretű termeknél (színház, templom, kiállítási csarnok) a visszhangmentesség céljára a legalkalmasabb a fából készített falburkolatok alkalmazása. Ezekben az esetekben a merevítést és az alapszerkezethez való rögzítést kell helyesen megoldani.

A mai megváltozott terhelési követelmények nagy figyelmet igényelnek a szilárdsági követelmények és a megfelelő merevítések (keresztirányú és hosszirányú) kezeléséhez. A kötőgerenda nélküli fedélszerkezetek általában szelemenes szerkezetet igényelnek a függesztő-, feszítőművek helyes elképzésével, mert sok történelmi szerkezetnél ezt hibásan oldották meg és számottevő oldalnyomás keletkezik a falak felső részén.

### 3. KÖVETKEZTETÉSEK

A faszerkezetű műemlékek, statikai szakértői vizsgálata jelentős körültekintést igényel. A történelmi faszerkezetek egy nagy problémája a faanyag kiszáradásából adódó zsugorodás, ami miatt a szerkezet deformálódik. Ez a jelenség például a vésett falépcsőknél, mint nyikorgás jelentkezik.

A faszerkezetű műemlék építményeknél az elkorhadt vagy súlyosan károsodott elemeket helyettesítő részek ugyanolyan anyagból kell legyenek, mint az a szerkezet, amelybe behelyezik őket. Itt nagyon fontos a nedvességtartalom, és hogy más mechanikai jellemzők is összeférhetőek legyenek a meglévő szerkezettel. Azokban a kivételes esetekben mikor szokatlanul nagy terhek jelenhetnek meg például a lucfenyő helyett akácfaát használni megengedett a kedvező mechanikai tulajdonságok miatt (például az akác testűrűsége több mint másfél-szerese a lucfenyőnek).

A fából épült történelmi tartószerkezetek statikai szakértői vizsgálata nélkül nem lehet a konzerválási és restaurálási munkákat megtervezni. A statikai beavatkozásoknál be kell tartani a következő szempontokat:

- hagyományos eljárások alkalmazását;
- a megoldás legyen visszaalakítható (amennyiben lehet);
- tegye lehetővé egy későbbi beavatkozás alkalmazását, ha megjelennek új anyagok és technológiák;
- a beavatkozások legyenek minimális jellegűek.

Mint köztudott, a faszerkezeteken a kiegyenlítő törekvések egy nagyságrenddel kisebbek, mint az acélszerkezetek esetében, ezért a szakértői szerkezeti beavatkozások ezt mindig szem előtt kell tartásuk.

A fa tartószerkezetek fizikai elhasználódásánál figyelembe kell venni nemcsak az épület teherhordó szerkezeteinek elhasználódását, hanem az épület kiegészítő szerkezeteinek (burkolatok, válaszfalak, nyílászárók, épületgépészeti berendezések) elhasználódását is. Egy kényes kérdés a műszaki állapot romlása (fizikai elhasználódás) és az épület erkölcsi avulásának megítélése a fenntartási költségek konstans növekedése szempontjából.

A műemlék tartószerkezetekre a statikai követelmények ugyanazok, mint az új tartószerkezetekre, illetve a szakértői vizsgálatok kell igazolják a teherbírást, a helyzeti állékonyságot, merevséget és a fáradási jelenségre a kellő biztonságot.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ORTUTAY, Gyula (főszerk.) 1979: Magyar néprajzi lexikon, II. kötet, Akadémiai Könyvkiadó, 1264. és 815. o., Budapest.
- [2] KOPENETZ, Lajos G. 2006: Gondolatok statikusoknak, Kriterion Könyvkiadó, Kolozsvár.
- [3] LIZZI, Fernando 1982: *The Static Restoration of Monuments*, Sagep Publication, Genova.