RÉGI ÉPÍTMÉNYEK FÉM ANYAGAI ÉS BIZTONSÁGA

METAL MATERIALS AND SAFETY OF OLD BUILDINGS

Kopenetz Lajos György¹, Gobesz Ferdinánd-Zsongor²

^{1,2}Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tan-
 szék, Románia, 400020 Kolozsvár, C. Daicoviciu u. 15, 3. em., 305;

¹Telefon +40-264-401318, ludovic.kopenetz@mecon.utcluj.ro

²Telefon: +40-264-401351, go@mecon.utcluj.ro

Abstract

In case of old metal constructions, there is to say where the bearing structure dominates, material issues have a great influence on the behaviour of the construction, in terms of function and safety. Old metal constructions have generally a monumental nature, so preservation, restoration and rehabilitation works are inseparable from material issues. Due to the monumental nature, the material research generally allows only minor damage, so these investigations require the use of special methods.

Keywords: *structure, monument, safety, metals.*

Összefoglalás

A régi fém építményeknél, vagyis az olyan szerkezeteknél, ahol a tartószerkezet dominál, az anyagi kérdések nagymértékben befolyásolják a szerkezet viselkedését, úgy működés, mint biztonság szempontjából. A régi fém építmények általában műemlék jellegűek, így a konzerválási, restaurálási és rehabilitációs munkák elválaszthatatlanok az anyagi kérdésektől. A műemlék jellegből következik, hogy az anyagi kutatások általában csak elenyésző roncsolást engednek meg, így e kutatások speciális módszerek használatát kéri.

Kulcsszavak: *szerkezet, műemlék, biztonság, fémek.*

1. Bevezetés

A régi építmények állagmegőrzéséhez, helyreállításához és megerősítéséhez nem csak statikai mérlegelés, hanem megfelelő anyagismeret is kell. A legszokványosabb gondokat a természetes elévülés okozza.

Köztudott, hogy a vas alapú anyagok korrózióvédelmét nem tudták a régi építményeknél se megoldani (egyebek mellett oly érdekességek is akadtak, mint például a baktériumok által elemésztett vascsövek).

A többi régi építményekhez képest, ezekre az építményekre a nagyméretű kar-

csúság jellemző, a tartószerkezetük pedig sok meglepetéssel szolgálhat, így a különböző beavatkozásokat nagy körültekintéssel és műgonddal kell megvalósítani.

Általánosan elfogadott, hogy egy tartó-szerkezet akkor biztonságos, ha a stabil egyensúlyi helyzetéből kismértékben kimozdítva visszatér az eredeti állapotába (ahol a rendszer potenciális energiája a legkisebb). Az anyagi kérdések tisztázása nélkül e fém anyagú szerkezetek stabilitási és teherbírási követelményei nem nyújtanak feltétlenül biztonságot azokra a terhelési esetekre, melyek a teljes tönkremenetelt

vagy a fokozatos összeomlást idézhetik elő. A biztonságot számító mérnökök jellegzetes hibáinak csak egy kis része származik a statikai megfontolásokból, a legnagyobb tévedések az anyagismereti oldalról jelentkeznek.

2. Anyagjellemzők és vizsgálatok

A fém anyagú régi építmények vizsgálatakor nagyon fontos a felhasznált anyagok és a létező minőség megállapítása [1, 2]. A fémeket az elektromos vezetőképesség és a fémes fény különbözteti meg a többi elemtől. A régi építményekhez használt anyagok kutatása és vizsgálata az archeometria segítségével lehetséges, mely által a szerkezeti mérnök a következő információkhoz juthat:

- az építmény művészettörténeti, régészeti, néprajzi vetületei és készítési technikája;
- a használt anyagok kora és előfordulási helye;

– az építmény és a történelmi, társadalmi kor fejlettségének kapcsolata.

Az anyagminőségi vizsgálatot főleg laboratóriumi teszteléssel lehet elvégezni, de helyszíni vizsgálatok is lehetségesek. Ez utóbbiakkal lehet megállapítani a különböző terhek okozta alakváltozások nagyságát, a szerkezet dinamikus jellemzőit és választát a dinamikus terhelésekre (szél, különböző rezgések, rezonancia érzékenység), valamint feltérképezni az észlelhető károsodásokat, hibákat (mágneses repedésvizsgálat, penetráló folyadékok, röntgen, ultrahang, defektoszkópia és induktív eljárások segítségével). A laboratóriumi vizsgálatok alapján meg lehet határozni pontosan az anyagokat (mintavétellel, vagy újabban a nélkül) és a fizikai tulajdonságaikat (sűrűség, hővezetési képesség, hőtágulási együttható, olvadáspont, rugalmassági együttható, húzószilárdság, folyási határ, szakadási nyúlás, stb.), keménységet, rugalmas vagy rideg viselkedést.

1. táblázat. A régi építményekben fellelhető fémek fizikai tulajdonságai és csoportosítása.

Jellemzők \ Fém elem	Pb	Zn	Sn	Cu	Au	Ag	Fe
szín	fehér fémek			színes fémek			fekete
sűrűség (daN/m ³)	11300	7140	7290	8860	19300	10500	7250 – 7800
olvadáspont (°C)	327	419	232	1083	1063	960	1200 – 1350
	alacsony			közepes			magas
hőtágulási tényező (×10 ⁻⁶ /grad)	28,0	26,0	26,7	16,5	14,2	19,5	10,5 – 11,5
rugalmassági tényező (×10 ⁻⁶ daN/cm ²)	0,1050	1,3	0,415	1,2	1,0	0,77	1,69 – 2,1
húzószilárdság (daN/cm ²)	100 – 300	1500 – 3200	200 – 600	1500 – 4500	1200 – 2200	1400 – 3800	3000 – 8000

A fém anyagú régi építmények (épületek, hidak, szobrok, stb.) tartószerkezeteiben vas (Fe), réz (Cu) és ötvözetei, cink / horgany (Zn), ón / cín (Sn), ólom (Pb), ritkábban ezüst (Ag), arany (Au) található. Ezek néhány jellemzője az **1. táblázatban** van feltüntetve.

3. A fontosabb fémek alkalmazása a régi építményekben

A fém alapú anyagokkal kapcsolatban nem ismerjük eléggé elődeink tudását, sok ismeret elavult vagy elveszett mára.

Az aranyat a legősibb koroktól használják, alacsony olvadási pontja miatt. Tartó-

szerkezeti elemként ritkán, inkább huzalként vagy borításként alkalmazták (1. ábra). Az ókorban a szerkezeti aranyhuzalt a kikalapált aranyszalag összesodrásával állították elő, a középkorban húzófogót is alkalmaztak. A borításokat aranylemez-ből kalapálták ki.

1. ábra. A kolozsvári Szent Mihály templom közel 4 m-es aranyozott keresztye.

Az ezüst nehéz, világos fehér színű fém, jól nyújtható, lágy, kalapálható. Öntését kerülték, mert porózus anyag keletkezik. Tartószerkezeti alkalmazása nagyon ritka, inkább ötvözésre alkalmazták.

A réz az egyik legrégebb használt fém, eleinte inkább kovácsolt formában (különböző vastagságú lemezekként) használták. Vörös színű, jól nyújtható, kalapálható. A levegőn zöld színű réteg (patina) képződik a felületén, mely átmosódva beszínezheti a környező felületeket is. Az öntését elkerülték mivel porózus anyag keletkezik (és az olvadáspontja sem csekély), de ezt ötvözéssel át tudták hidalni. A sárgarézt (tompak, tombak) a római időkben jelent meg, a réz és cink ötvözésével (esetenként ólommal is keverve). Alacsonyabb olvadáspontja miatt öntött tárgyakhoz is használták, de természetesen, kovácsolt és hidegen formált alakban is sok alkalmazást kapott. A bronz a réz és az ón ötvöze, elég széleskörű alkalmazásra került (lámpatestek és oszlopok, nagyméretű szobrok, díszítések, stb.).

A cink (horgany) kékesfehér színű, csak a felületén oxidálódik vékony rétegben, ami megvédi a korróziótól. Nagyon jól tapad a

vasszerkezetekhez, vaslemezekhez és, a korrózió szempontjából, mint pozitív elem, saját tönkremenetele által védi az általa borított vasat (pl. horganyzott lemez). Így nagyon sok szerkezeti díszítésnek az alapanyaga (2. ábra). Az öntvényeket bronzal bevonva kiváló kőutánzatok készültek.

2. ábra. Horganyzott lemezzel borított kupolák Koltovszár főterén.

Az ón (cín) ezüstfehér színű, igen lágy, nehéz fém, jól nyújtható, kalapálható. Nagy figyelmet kíván a fehér ón, mely 13,2 °C alatt szürke ónná módosul és porrá alakul (ónpestis). Nagyon jól tapad a vasszerkezetekhez, vaslemezhez (öntött vaslemez, vagy fehér lemez) és ezeket védi (mint pozitív elem) a korróziótól, akárcsak a cink.

Az ólom kékeszürke színű, nehéz lágy fém. A felületen oxidálódik vékony rétegben, ami megvédi a korróziótól és a híg savaktól (kénsav, sósav), kivéve a salétromsavat (HNO₃). Könnyen nyújtható közönséges hőmérsékleten, de az olvadási pontja körül igen merevvé válik. Leginkább lemezek, huzalok, csövek, szigetelések anyagaként szerepel, valamint vánkoss lemez, öntöttvas, kő és fa oszlopok támaszkodási pontjain.

A vas ezüst fehér színű, nehéz fém, mely levegőn rozsdásodik, korrodálódik és védelem hiányában az egész vasszerkezet elpusztulhat (3. ábra). A rozsdásodás a felületén kezdődik (barna színű oxid-hidroxid réteg képződik, mely nem össze-függő, így nem védi meg a további oxidációtól) és befelé haladva duzzadást is okozhat.

3. ábra. Vas híd (kovácsoltvas karfa és kapu, rozsdától elemészett acélgerenda alul csövel erősítve) és erkélyek a kolozsvári Malom-árok felett.

A régi építményeknél nyersvas (fehér vagy szürke), öntöttvas (folyasztottvas, folytvas), kovácsoltvas (hegeszvas, kavartvas), vagy acél (folytacél) formájában található leginkább. A nyersvas 2,3-6% szenet tartalmaz, ahol a szén két féle formában jelentkezhet (vas-karbidként a fehér nyersvasban, szén grafitként a szürke nyersvasban). Az öntöttvasat a nyersvas megolvasztásával és formába öntésével kapják. A fehér nyersvasból kapott öntöttvas kemény (nem fogja a reszelő), rideg, nem nyújtható és nehezen olvad. Azok a régi építmények, ahol ebből az anyagból van a tartószerkezet, nagyon nagy figyelmet igényelnek a nagy merevség és a duktilitás teljes hiánya miatt (a kihajlás lehetetlen és a földrengés okozta hirtelen lökésekre nem tud válaszolni a szerkezet). A szürke nyersvasból készült öntöttvas lágyabb (reszelhető, fűrható) és könnyebben olvad. A kovácsoltvas széntartalma kicsi (0,2%-nál kisebb), kovácsolható és hegeszthető lágy vas. Az acél széntartalma 1,5-2% (vas-karbid alakjában), kovácsolható és hegeszthető.

4. Következtetések

A régi építményekben található fém anyagok tulajdonságainak az ismerete és kutatása nem csak a szerkezeti hibák feltá-

rása során segít, hanem a hibák elhárítására tett javaslatok kidolgozásában is. Habár a tartószerkezetekre vonatkozó szabályok időnként változnak, az építmények elegendő hordképességgel és tartóssággal kel bírnak. Minden tartószerkezet hordképessége és tartóssága elsősorban a felhasznált szerkezeti anyag függvénye, ezért a tartószerkezeti szakértőnek a véleménye, valamint az építmény biztonságos és okszerű használatára vonatkozó előírásai jelentik az egyedüli járható utat. A szakértőnek meg kell vizsgálnia, hogy a tartószerkezet képes-e a formai összefüggések érzékelhető változása nélkül biztonságosan levezetni a terheléseket a talajra. Az igénybevételek számításánál oda kell figyelni, hogy a rugalmassági határon ne haladjanak túl a szerkezeti részek, mert a fém anyagú szerkezeteknél a rugalmassági határ átlépése szorosan összefügg a fáradási tönkremenetellel (az avultság miatt javasolható, hogy a határfeszültségeknek csak a fél értékével végezzék a számításokat).

A mai tervezési filozófia a biztonságos tönkremenetel elvén alapszik, tehát megengedi a helyi károsodást, de nem fogadja el a progresszív, vagy teljes összeomlást. Ezt csak nagy egyszerűsítéssel lehet a régi szerkezetek esetében alkalmazni, nem elég a statikus és dinamikus hatások okozta szilárdsági, alakváltozási és elmozdulási értékek kiszámítása, hanem nagyon fontos ezeknek a hatásoknak a csökkentése.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Riederer, J.: *Kunstwerke chemisch betrachtet. Materialien, Analysen, Altersbestimmung*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981.
- [2] Kopenetz, L. G.: *Gondolatok statikusoknak*, Kriterion Kiadó, Kolozsvár, 2006.