



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészmérnöki Kar

Csonka Pál Doktori Iskola

**XVIII-XIX. SZÁZADBAN KÉZMŰVES TECHNOLOGIÁVAL
KÉSZÍTETT KOVÁCSOLTVAS ÉPÜLETSZERKEZETI ELEMÉK
VIZSGÁLATA**

Tézisfüzet
nyilvános védéshez

Vidovszky István
okl. építészmérnök

Témavezető:
Dr. Kiss Jenő Phd. CSc.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építéskivitelezési Tanszék

Budapest

2007.

1. A KUTATÁSI FELADAT RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

1.1. Bevezetés

A műemlék-helyreállítás gyakorlatában az elmúlt évtizedek során egyre hangsúlyozottabbá vált a hagyományos technikák és anyagok használata, az eredeti szerkezetek megtartása. Ennek az elvnek nemzeti szinten való megfogalmazása a „*Műemlékek és műemléki együttesek védelmének és helyreállításának szempontjai és módszerei Olaszországban*” című 1996-ban kiadott dokumentum, amely az eredetivel egyező technikák és anyagok használatát, továbbá minél több eredeti szerkezet megtartását szorgalmazza (Karták, 2002). A hagyományos technológiák, díszítések és szobrászati elemek egészének megtartására való törekvés mellett szól a legújabb nemzetközi műemlék-helyreállítási elveket megfogalmazó, 2000. évi *Krakkói Karta* szövege is (Karták, 2002). Ennek kapcsán merült fel az a kérdés, hogy a kovácsoltvas épületszerkezetek milyen feltételek mellett tarthatóak meg.

Az épített örökség részét képző kovácsoltvas szerkezetek állapotáról, anyaguk pontos minőségéről keveset tudunk. Ezeknek az épületszerkezeti elemeknek gyakran (például korlátok, vonó- és kötővasak esetén) statikai és szilárdsági követelményeknek is meg kell felelniük. Az anyag szemmel nem látható hibái veszélyforrást jelentenek, és az idő múlásával súlyos károk okozói lehetnek. Célszerű az ilyen szerkezetek állapotának felmérése, anyagi tulajdonságainak és lehetséges szilárdsági viselkedésüknek pontosabb megismerése.

Nem hanyagolható el a téma építéstörténeti jelentősége sem. A kovácsvas egyik fajtája, a hegeszvas, nem csak a történeti kovácsoltvas szerkezetek leggyakrabban előforduló anyaga, de egy korszakot is meghatároz. A hegeszvas lágyacél fémrácsba ágyazott salak szálaból álló kompozit, amelynek a tulajdonságai jelentősen befolyásolták a kovácsszakma technológiai fejlődését, és a mai napig hatással vannak a történeti kovácsoltvas szerkezetek anyagjellemzőire és teherbírására.

Az értekezésben kézműves kovácsoltvas szerkezetek anyagait vizsgálom többféle módszerrel. Keresem azokat a tényezőket, amelyek a szerkezetek anyagminőségét, szilárdságát, nyúlását, és teherbírását befolyásolják a kiindulási anyag készítésétől a beépített

szerkezeti elemet érő hatásokig. Az anyag mechanikai tulajdonságaira vonatkozó, az irodalomból gyűjtött adatokat saját mérési eredményeimmel hasonlítom össze. A mechanikai jellemzők közül kiemelt szerepet játszik a szakítószilárdság, amely a XIX. század óta elterjedt fogalomként a legszélesebb körű összehasonlítást teszi lehetővé. Az egyes módszerekkel végzett mérési értékek összehasonlítása a kézműves technológiával készített épületszerkezeti elemek roncsolásmentes vizsgálatának előkészítésére szolgál.

1.2. Az irodalom összefoglalása

A kovácsoláshoz használt alapanyag és annak készítmódja döntő fontosságú a kovácsoltvas tárgy későbbi minősége szempontjából. Az irodalom feldolgozása alapján a kiindulási anyag használatában két fontos határ állapítható meg. Az egyik a bucavas és az indirekt vasgyártás közötti határ, a másik a hegeszvas és folytvas használatának határa. Az előbbit az irodalom egyértelműen meghatározza, az utóbbi időbeli elválasztására vonatkozólag nem találtam konkrét utalást. A különböző forrásokból származó adatok feldolgozása alapján azonban okkal feltételezhetjük, hogy a kézműves kovácsolás területén a hegesztett és folytvas közötti váltás a 1880 és 1900 közötti időszakra tehető.

A kovácsvas anyagok minőségéről kétféle forrás áll rendelkezésünkre. Egyfelől a XIX. század irodalma biztosít számunkra a kor kovácsvasairól minőségi adatokat, másodsor a XX. században mért és publikált hídstruktúrák anyagait vizsgáló minőségadatokból tájékozódhatunk. A hídanyagokat azonban nem kézműves kovácsolással, hanem üzemi körülmények között állították elő, és a rendelkezésünkre álló forrásokból csak a XIX. század századi anyagminőségekről értesülhetünk, a XVIII. századból ilyen adatokkal nem rendelkezünk.

Az irodalomból megismert anyagok összetétele közel azonos, azaz 0,3 m% széntartalom alatti acélokról van szó, ugyanakkor minőségük széles intervallumban mozog. A XIX. századi gyártott és forgalmazott anyagok szakítószilárdságára vonatkozó előírások és a megengedett terhelési értékek között 3-4-szeres biztonságot jelentő különbségek vannak, a tapasztalt legalacsonyabb szakítószilárdság értékek azonban megközelítik a megengedett

terhelési határértékeket. Itt is felvetődik az a kérdés, hogy mi okozhatja az anyag szélsőségesen alacsony szilárdsági értékeit.

Folytvas esetén az anyag változó minőségéért a kortárs szakemberek a vasgyártás során ki nem küszöbölt szennyezőanyagokat tették felelőssé. Hegeszvasak esetében ennél összetettebb a kérdés, amelyre a kézműves kovácsolás tanulmányozása adhat választ.

Az anyag ridegségének vizsgálatánál az amerikai szakemberek, két okot jelöltek meg, a káros mértékű foszforszennyeződést, és azt a jelenséget, amikor a salakbezáródások túlságosan nagy részét foglalják el egy-egy keresztmetszetnek. Ezek a hibák dinamikus erőhatások esetén az anyag tönkremenetelét okozhatják (Gordon 2005). A két hatás közül a káros mennyiségű foszfor nem feltétlenül okoz alacsony szilárdságot. Ez derült ki néhány leszakadt híd esetében, ahol az anyag szilárdsága kielégítő, az alakváltozó képessége azonban túlságosan kicsi volt (Gordon 2005). A túlzott mértékű salakbezáródások esetén a ridegség a szilárdság csökkenésével jár együtt. Ez a jelenség hegeszvasaknál nem tekinthető ritkának, ami részben magyarázatot ad a szilárdságértékek nagy szórására. További vizsgálat tárgyát képezheti a jelenség más okainak megismerése.

Az anyag minősége és a feldolgozás technológiája közötti összefüggésekre az ezzel kapcsolatos XIX. századi kísérletek hívják fel a figyelmet (Ledebur 1890). Felvetődik a kérdés, hogy a kézműves kovácsolás technológiai műveletei lehettek-e további befolyással az anyagminőségre. Ennek vizsgálata szintén segítségünkre lehet a történeti kovácsvas szerkezetek tulajdonságainak megismerésében.

2. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLJA

Az értekezés céljai az alábbiakban foglalhatóak össze:

I. A kézműves kovácsolással készített épületszerkezetekre a XVIII-XIX. században jellemző anyagok tulajdonságainak meghatározása:

- 1) az irodalom feldolgozása során megfogalmazott, a hegeszvas és folytvas használatának időbeli határára vonatkozó feltételezés igazolása, és az ehhez kapcsolódó módszer bemutatása
- 2) a XVIII. századi kézműves kovácsolással feldolgozott anyagok esetén a mechanikai jellemzőknél tapasztalt nagy szórások okainak meghatározása
- 3) az irodalomban talált XIX. századi mechanikai jellemzők mai mérési eredményekkel való összehasonlítása
- 4) a kézműves kovácsolással feldolgozott anyagok inhomogenitásáért felelős tényezők meghatározása

II. A kovácsoltvas szerkezetek megtarthatóságának vizsgálata:

- 5) a kovácsvas épületszerkezetek anyagának roncsolásmentes, beépített állapotban végzett vizsgálati módszerének kidolgozása, és a módszer korlátainak meghatározása.

3. A KUTATÁS MÓDSZERE

3.1. A vizsgálati anyagok

A kutatás során különféle helyszínekről származó, XVIII. és XIX. századi kovácsoltvas épületszerkezeti elemekre jellemző anyagot vizsgáltam. Referenciaanyagként valamint az új anyagokkal végzett kísérletekhez a mai szabványos (S235JRG2 minőségű) lágyacélt használtam. Az anyagok részletes leírása a *I. táblázat*ban látható.

1. táblázat. A vizsgált anyagok

	Minta származása és leírása	Minta jele	Minta feltételezett kora	Minta mérete
1.	Forgách-Walla kúria (Budapest II. kerület), ablakrács elem	F1	XIX. század vége	470x 13x 13 mm
2.	Gyulai vár, vadhús felakasztására szolgáló vonóvasak darabjai	Gy1/1	XVIII. század	1025x 65x 27 mm
3.		Gy1/2		970x 65x 25 mm
4.		Gy1/3		992x 65x 25 mm
5.	hatvani cukorgyár, falkötővas (hurkolt szélső darab)	H1/1	1889	370x 50x 7 mm
6.	hatvani cukorgyár, falkötővas (függőleges elem)	H1/2		520x 55x 10 mm
7.	hatvani cukorgyár, falkötővas (közbenső darab)	H1/3		983x 11x 60 mm
8.	ismeretlen eredetű kapupánt (vonalas, alakosan díszített)	ie1	XVIII. század	3x 35-40 mm
9.	Máriabesnyő (Gödöllő), római katolikus plébánia, oltárkép elem	M1/1	1768-71	630x 28x 8 mm
10.		M1/2		435x 27x 8 mm
11.	Pilis, evangélikus templom, kapupánt (kereszt alakú, alakosan díszített)	P1	1784	360x 35x 3 mm és 200x 35x 3 mm
12.	Sándor-palota (Budapest, I. kerület), falkötővas	Sp1	1805	140x 31x 11 mm
13.	Zsámbék, egykori Zichy-kastély épülete, bekötővas (hurkolt, kampós elem, részben lapított)	Zs1/1	1905 körül	l=810 mm d=24 mm (behajtás 110 mm)
14.	Zsámbék, egykori Zichy-kastély épülete, bekötővas (függőleges elem)	Zs1/2		l=410 mm d=24 mm
15.	Zsámbék, egykori Zichy-kastély épülete, vonóvas	Zs2/1	1710	850x 25x 25 mm
16.		Zs2/2		839x 25x 25 mm
17.	S235JRG2 referenciaanyag	U1	2004	19x 19 mm rúdacél

3.2. A vizsgálati módszerek

A kutatásaim során különböző módszerekkel a XVIII-XIX. századi épületszerkezeti elemek anyagainak mechanikai jellemzőit, anyagszerkezetét és hibáit mértem fel, és mai anyagok mechanikai jellemzőinek a kovácsolás során kialakuló változásait vizsgáltam.

Szakítóvizsgálatokkal a szakítószilárdságot és a nyúlást határoztam meg. Az anyag felületén Equotip-2-es mobil digitális keménységmérővel végzett keménységvizsgálatok és az ezek alapján becsült szakítószilárdságok az anyag roncsolásmentes – helyben végzett – vizsgálati lehetőségeinek felméréséhez voltak szükségesek. A különféle mérési módszerek összehasonlítására azonos mintadarabokon Equotip-2 mobil digitális keménységmérővel meghatározott adatokat hasonlítottam össze Poldi kalapácsos keménységmérésekből becsült, és szakítóvizsgálatokkal közvetlenül mért szakítószilárdság értékekkel. A szerkezeti elemek valós teherbírásának megállapítására, azok egyes szakaszait teljes keresztmetszetük terhelésével szakítottuk.

A homogén anyag mechanikai tulajdonságainak meghatározásánál használatos vizsgálati eljárások – megfelelő körülményekkel – információt szolgáltatnak a XVIII-XIX. században készített kovácsoltvas épületszerkezetek anyagának jelenlegi állapotáról és minőségéről is.

Az új (mai) anyagok vizsgálatánál a kézműves kovácsmunka során jelentkező anyagminőség-változások meghatározása volt a célom.

A metallográfiai, átvilágító röntgen- és hátfalviszhangos ultrahangvizsgálatokkal a felhasznált alapanyag típusát (hegesztett vagy folytvas), az anyag belső szerkezetét és az anyaghibákat mértem fel.

3.3. A számított paraméterek

A különféle módszerekkel mért és számított eredményeket a 2. táblázatban foglaltam össze.

2. táblázat. Különféle módszerekkel mért minőségjellemzők

	Jel	Minta származási helye	Szakítóvizsgálat ¹			Keménységmérés alapján becsült szakítószilárdság [N/mm ²]			Teljes keresztmetszeten való szakítás, mért szakítószilárdság [N/mm ²]		
			Folyás-határ [N/mm ²]	Mért szakítószil [N/mm ²]	Nyúlás [%]	Equotip, felületen (átlagok)	Equotip belső síkon (átlagok)	Poldi kalapács			
1.	Gy 1	Gyulai vár, vonóvasak (hegeszvas)	átlag	231,4	354	36,0	497,6	365,7	346	183	
2.			szórás	25,1	68,4	12,8	100,7	10,3	8		
3.			min	191	269	23,3	386	357	338		
4.			max	261	524	40,5	702	377	354		
5.	H1	Hatvani, cukorgyár, falkötővas (folytvas)	átlag	294,6	391,4	26,3	447,9	380	398	317	
6.			szórás	0,4	12,5	2,5	40,7	31,6	24,3		
7.			min	294	383	23,7	386	347	370		
8.			max	295	406	28,7	499	410	414		
9.	ie1	ismeretlen eredetű ajtópánt (hegeszvas)	átlag	n.a.	n.a.	n.a.	335,3	n.a.	n.a.	n.a.	
10.			szórás				33,2				
11.			min				300				
12.			max				367				
13.	M1	Máriabesnyő oltárrács elem (hegeszvas)	átlag	373,1	465,3	18,8	303,8	437	415,3	n.a.	
14.			szórás	26,8	23	0,4	25,3	10,6	48,2		
15.			min	344	439	18,4	277	429	370		355
16.			max	397	482	19,1	347	449	466		390
17.	P1	Pilis, kapupánt (hegeszvas)	átlag	n.a.	n.a.	n.a.	281	n.a.	n.a.	n.a.	
18.	Sp1	Sándor-palota falkötővas (hegeszvas)	átlag	n.a.	339,8	24,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
19.			szórás		27,5	12					
20.			min		308	11,2	n.a.				
21.			max		357	34,3					
22.	Zs1	Zsámbék, bekötővas (folytvas)	átlag	286,8	364,8	38,8	350	340	346,	n.a.	
23.			szórás	10,5	1,95	0,6	15,7	7	24,3		
24.			min	278	363	38,4	327	333	330		
25.			max	298	367	39,5	360	347	374		
26.	Zs2	Zsámbék vonóvas (hegeszvas)	átlag	179,3	303,2	36,8	497,4	393	380	n.a.	
27.			szórás	13,6	8,6	4,8	30,6	17,3	22,7		
28.			min	174	295	31,2	449	373	354		269
29.			max	195	312	39,6	549	403	396		384
30.	U1	S235JRG2 referencia-anyag	átlag	284,1	422,6	36,5		409,7	383,3	n.a.	
31.			szórás	9,1	1,86	0,4		23,1	8,3		
32.			min	275	421	36,2		393	374		
33.			max	293	425	36,9		436	390		

n.a. : nincs adat

4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

Az új tudományos eredmények megfogalmazásánál a tézisek szövegét dőlt, a hozzájuk tartozó magyarázat szövegét normál betűvel szedtem.

1. tézis: *A kohászati eljárások, az épületszerkezetek, valamint épületszerkezeti elemek irodalmi és történeti feldolgozása alapján megállapítottam, hogy Magyarországon a kézműves kovácsoltvas épületszerkezetek 1880 előtt hegeszvasból, 1910 után folytvasból készültek. A köztes időben (1880-1910) mindkét anyag használata előfordult.*

Saját vizsgálatokkal bizonyítottam, hogy az átvilágító röntgen és a hátfalvisszhangos ultrahang eljárások lehetővé teszik a kovácsoltvas épületszerkezeti elemek készítési idejének korszakba sorolását, valamint egy szerkezeten belül az eltérő anyaghasználat megkülönböztetését.

A kovácsoltvas szerkezeti elemek szilárdságát a felhasznált alapanyag típusa (hegeszvas vagy folytvas) erőteljesen befolyásolja. Ennek megállapítása többek között hátfalvisszhangos ultrahang- és átvilágító röntgenvizsgálatokkal lehetséges. Ha az elemről készült felvételen látható anyagszerkezet rostos (szálas) a mintát hegeszvasnak, ha homogén a mintát folytvasnak kell tekinteni.

A szakirodalom vizsgálata alapján megállapítható, hogy Magyarországon a XVIII. század elejétől, az 1830-as évekig az építéshez felhasznált vas direkt redukciós technológiával és indirekt módon nyersvasból, készeléssel (tűzhelyen való frissítéssel) előállított hegeszvas. Az 1830-as és az 1850-es évek között a kovácsvas gyártási technológiáinak sorában megjelent a kavarrófrissítés is (Rempert, 1995).

A vasipar fejlesztéseinek (1856 Bessemer eljárás, 1865 Siemens-Martin eljárás, 1879 Thomas eljárás) eredményeképpen az XIX. század közepére kialakult a nagyobb szénttartalmú folytacél majd a kovácsvasnak (lágycél) számító folytvas gyártása.

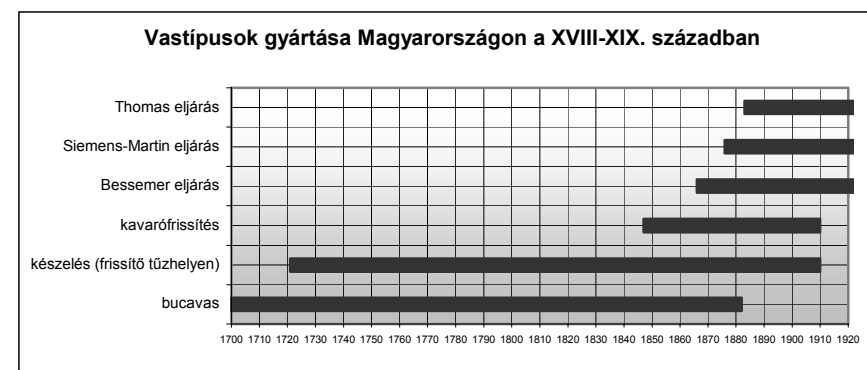
Az első magyarországi Bessemer konvertert 1866-ban helyezték üzembe Resicán, 1876-tól Martin-kemence is üzemelt ugyanitt (Edvi, 1900). A folytvasak gyártása terén a valódi áttörést, az 1880-as években bevezetett bázikus eljárások hozták. Az új módszerrel ugyanis a

kovácsolást megnehezítő foszfor kiküszöbölhető. Salgótarjánban 1883-ban váltották fel a korábbi kavarrókemencét Thomas-féle konverterrel, Zólyombrezsón 1886-ban, Resicán 1889-ben helyeztek üzembe bázikus Siemens-Martin kemencéket (Maurer, 1892).

A kovácsok körében, – és ebből következően a kézműves technológiával készített épületszerkezeti elemeknél – a hegeszvasról folytvasra való váltás lassan ment végbe. A direkt redukciós eljárással készített anyagok alkalmazása ugyan a XIX. századra erőteljesen visszaszorult Közép-Európában, de készeléssel és kavarróeljárással készített vasakat még ekkor is nagy arányban lehetett találni az építőanyagok között.

A technikai feltételek 1870 körül a nagyobb szénttartalmú anyagok (folytacél) előállításához voltak meg (Ledebur, 1890), de az 1880-as évektől kezdve a hegesz- és folytvasak aránya fokozatosan az utóbbi javára nőtt.

Adataink szerint az 1890 körüli időszakban a folytvas és a hegeszvas használata egyformán gyakorinak tekinthető (Ledebur, 1890). A két anyag versenyeről olvashatunk a *Breymann Baukonstruktionslehre* megfelelő kötetében is (Breymann, 1890).



1. ábra. Vastípusok gyártása Magyarországon a XVIII-XIX. században

A hegeszvas használatának eljelentéktelenedése az 1900-as évek elejére tehető. Erre következtettem a *Breymann Baukonstruktionslehre* 1902-es kiadása alapján, amely már a folytvas egyeduralmáról ír (Breymann, 1902). A könyv 1890-es és az 1902-es kiadása csupán apró részleteiben tér el egymástól, ha az ide vonatkozó részt szükségesnek tartották átírni, ez a vizsgált szempontból figyelemreméltó változást jelent. Edvi Illés Aladár 1900-

ban írt tájékoztatója szintén a frissítőkemencék számának nagymértékű csökkenéséről számol be (Edvi, 1900). Az eltérő módon előállított kovácsvas anyagok használatának időbeli változását az 1. ábrán mutatom be.

A fentiekkel egybehangzóak a hidak építési adatai is. Az 1950-es évek felmérései alapján 1890 előtt csak hegeszvas, 1900 után csak folytvas anyagú vasúti hidak épültek Magyarországon (Nemeskéri, 1958).

Az irodalomban található adatok alapján megállapított a folytvas és hegeszvas használata közti időhatárt, a kovácsoltvas épületszerkezeti elemeken végzett, a 3. táblázatban összegzett, átvilágító röntgen és metallográfiai vizsgálatok eredményei igazolták. Az 1900 körüli építkezésekről származó anyagaink már folytvasra jellemző szerkezetet mutattak.

A hegeszvasak a legtöbb esetben magukon hordozzák a készítés módjának nyomait. Az átvilágító röntgenfelvételen az eltérő belső szerkezetű anyagok (a jellegzetesen eltérő szerkezetű hegeszvasak is) megkülönböztethetőek, biztosítva ezáltal egy-egy szerkezetben a különböző módon készített, esetleg eltérő korú elemek megkülönböztetését.

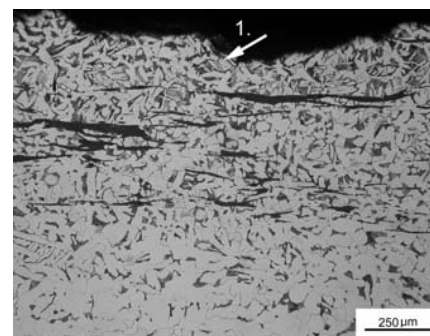
3. táblázat. A vizsgált minták anyagszerkezete különböző vizsgálatok alapján

Vizsgált anyag	Jel	Feltételezett kor	Anyagszerkezet a röntgen ultrahang és metallográfiai vizsgálatok alapján
Gyulai vár - vonóvasak	Gy1	XVIII. sz.	hegeszvasra jellemző anyagszerkezet
Zsámbék - vonóvas	Zs2	1710	
Máriabesnyő – áldoztatórács	M1	1768-71	
Pilis – kapupánt	P1	1784	
Sándor palota – falkötővas	Sp1	1806	homogén, folytvasra jellemző anyagszerkezet
Hatvani cukorgyár – falkötővas	H1	1889	
Zsámbék – bekötővas	Zs1	1905k.	
Forgách-Walla kúria - ablakrács	F1	XIX. sz. vége	

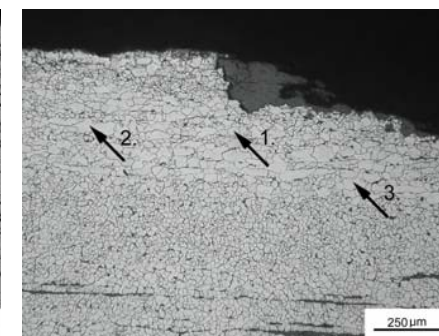
2. tézis: Vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a kézműves kovácsolással készített épületszerkezeti elemek anyagminősége a mintafelszín közelében a különböző műveletek során a szén felvétele és leadása, valamint a közvetlen alakító munka következtében a belső részekről eltérő tulajdonságokat mutat.

A metallográfiai vizsgálatnál mind a gyulai várból, mind a Sándor-palotából származó mintákon az anyagszerkezet változását figyelhettük meg. A felszínhez közeli réteg az egyik esetben szénben dúsult (2. ábra), a másik esetben dekarbonizálódott (3. ábra). Ennek

megfelelően a Sándor-palotából származó minta felszínén mért keménységértékek sokkal alacsonyabbak voltak ($L_{D_{átl.}}=222$), mint az a szakítóvizsgálatok során nyert szilárdságértékekből ($308-357 \text{ N/mm}^2$) várható lett volna ($L_D \sim 320-355$). A gyulai várból származó minta mért szakítószilárdság értékeinek ($269-524 \text{ N/mm}^2$) nagy volt a szórása ($s=68,4 \text{ N/mm}^2$), de a minta felszínének egyes helyein mért keménységi értékek alapján ($L_D=490$) becsült szakítószilárdságok (702 N/mm^2) azonban ezekhez képest is kiugróan magasak voltak.



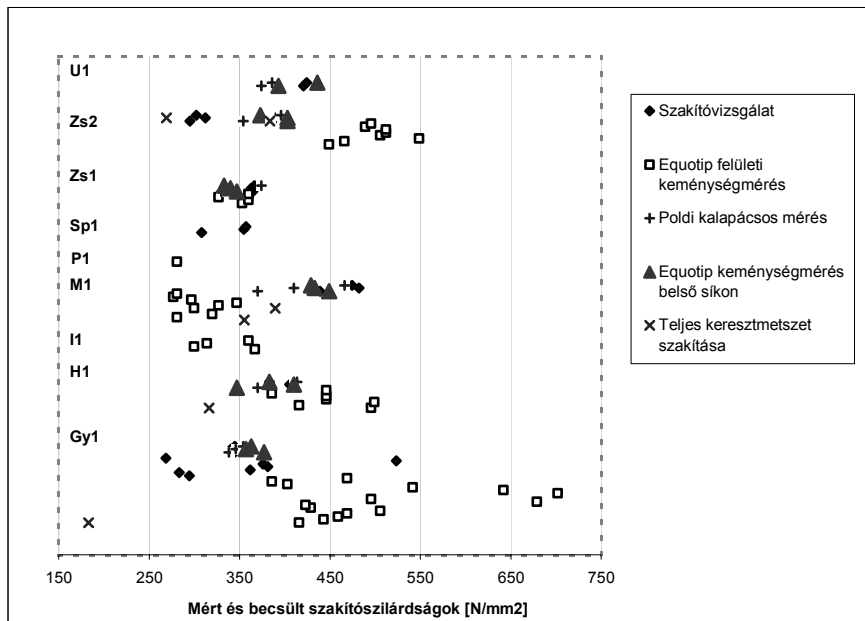
2. ábra. Karbonizálódott felszínközeli rész (Gyulai vár)



3. ábra. Dekarbonizálódott felszín (Sándor-palota)

Az anyagminőség felszínközeli változását bizonyítottam az Equotip-2 mobil digitális keménységmérővel a felszínén és a próbatesteken mért L_D keménységértékek összehasonlításával. A felszínén való mérések esetén, az egymás mellett mért értékek csak kis különbségeket mutattak, ezzel szemben a felület különböző részeiről származó mérési eredmények csoportjai egymástól egészen eltérő értékeket adtak. A felületvizsgálattal azonos anyagból származó mintáknál, az anyag belső részeiről, eltérő helyekről kivett próbatestek mért értékei a felületi értékek különbségeinél kisebbeket mutattak (2. táblázat 4-5. oszlop; 4. ábra).

A felszín és a belső részek eltérését mutatja az a tény is, hogy amíg a köztes síkon mért keménységértékek alapján becsült szakítószilárdság értékek jól korreláltak a mért szakítószilárdság értékekkel ($r=0,86$), addig a felszínén mért keménységértékekből becsült szakítószilárdság és a mért szakítószilárdságok között nem tapasztaltam lineáris kapcsolatot ($r=-0,35$) (6. ábra).



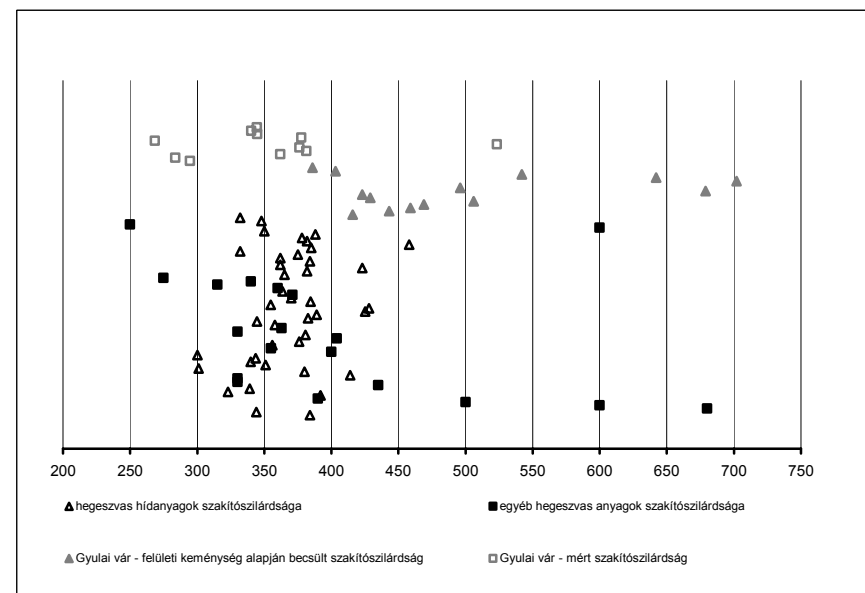
4. ábra. A különféle mérésekkel mért adatok

3. tézis: *Kísérlettel igazoltam, hogy a kézműves kovácstechnológiával készített épületszerkezeti elemek szilárdságának egyes esetekben az adott szerkezeti elemen belül is olyan jelentős a szórása, mint az irodalomból ismert különböző anyagoknál mért szakítószilárdságok összességének a szórása.*

A szakirodalomból ismert XIX. századi hegeszvas híd szerkezeti elemek anyagáról közölt szilárdságot (49 adat) feldolgozva, a szakítószilárdságok átlaga 366 N/mm^2 a szórás $s=32 \text{ N/mm}^2$. Ugyancsak XIX. századi általános (a kovácsoláshoz is használt) hegeszvas alapanyagokra vonatkozó szakítószilárdság adatok esetén, 21 adat átlaga 399 N/mm^2 , a szórás $s=110 \text{ N/mm}^2$.

Az általam vizsgált anyagok különféle módszerekkel mért és becsült szakítószilárdság adatai és azok szórásai a 2. táblázatban szerepelnek. Különösen figyelemre méltó a gyulai várból

származó anyag. A szakítószilárdságok átlaga 354 N/mm^2 , a szórás $s=68 \text{ N/mm}^2$. Az Equotip-2 mobil keménységmérővel mért adatokból becsült szakítószilárdságok átlaga 498 N/mm^2 , a szórás $s=101 \text{ N/mm}^2$. A gyulai minta szakítószilárdságainak szórása tehát lényegében egyezik az irodalomból általam összegyűjtött összes anyag szakítószilárdság értékének szórásával (5. ábra).



5. ábra. Az irodalomban található szakítószilárdság adatok összevetése a saját mérési eredményekkel

4. tézis. *Különböző vizsgálatokkal megállapítottam, hogy a teherbírást befolyásoló inhomogenitás - a kiindulási anyag minőségén kívül – a hegeszvas anyagoknál a felszínen kapcsolatban lévő salakbezáródások mentén a szerkezet belsejébe hatoló korrodáló anyagok okozta anyaggyengülés és az alakító munkák során létrejövő részleges (lokális) változások következtében jön létre. A folytvas anyagoknál teherbírást befolyásoló inhomogenitást csak az alakító munkák során létrejövő részleges (lokális) változások okoznak.*

A hegeszvas anyagok inhomogenitásának kialakulásában három tényező játszik szerepet. Az első tényező az alapanyag és annak készítése. Ez kiemelten a vasbucák inhomogenitása

következtében a direkt redukcióval készített vasakat érinti, de a másodlagos felhasználások, az eltérő anyagok kötegelése (nagyobb darabok hosszirányú kovácshegesztéssel való készítése kisebbekből) valamint a hegesztések helyén megmaradó salak szálak miatt minden hegeszvas alapanyagú szerkezeti elemnél fennáll. Ez a jelenség az irodalomból ismert.

A második inhomogenitásért felelős tényező, a használat során a felszínnel érintkező salakbezáródások miatt kialakuló és a felszínen nem látható korrózió. Ez a hatás volt észlelhető a gyulai anyag teljes keresztmetszetű szakítóvizsgálatainál. A szakadás helyén az átvilágító röntgenvizsgálat a felszínnel érintkező salakbezáródást mutatott. Az elszakadt felületen látható, hogy a korrodált felület mélyen az anyag belsejébe hatol. Ennek megfelelően a teljes keresztmetszetű szakításnál a normál szakítóvizsgálatoknál tapasztalt legkisebb (284 N/mm²) értéknél is jóval kisebb (183 N/mm²) szakítószilárdság értéket mértünk.

A harmadik tényező a készítés következtében fellépő inhomogenitás, amely egyrészt a kovácstűznek az anyag felületével való érintkezése közben, másrészt a hideg és melegalakítások során az anyag egy-egy területén keletkezik. Melegalakításnál az anyag felkeményedését az alakítás, lágyulását a megfelelő hőmérsékletű melegítés következtében fellépő újrakristályosodás okozza (Verő-Káldor, 1977). A kovácsolás melegalakító műveleteit nem szabályozott körülmények között végzik, ezért előfordul, hogy az alakítás egy része a melegalakításhoz szükséges hőmérsékleti tartományon kívül, azaz nem ausztenites állapotban megy végbe és a melegalakítással együtt a szövetszerkezet hidegalakításra jellemző torzulása is lejátszódik. Ezek a torzulások általában kismértékűek, de a szilárdság és a nyúlás mérhető változásával járnak. Erre következtettem egyes XIX. századi kísérletek eredményeiből (4. táblázat), és ezt tapasztaltam az U1 jelű vizsgálati anyag zömített valamint nyújtott állapotban vizsgált szilárdsági és nyúlási értékeinek változásánál is (5. táblázat). Az üzemi körülmények között gyártott anyagoknál az anyag tulajdonságait jellemzően az utolsó művelet körülményei határozzák meg (Verő-Káldor, 1977), amely a mechanikai jellemzők kisebb változását eredményezi, mint a kézműves szerkezeteknél, ahol ezek a hatások a szerkezeteknek csak az alakítást szenvedett részeit és azok közvetlen környezetét érintik. A készítés során a szerkezet egészét nem melegítik újra, ezért a korábbi műveletek hatásai megmaradnak, összeadódnak, vagy gyengíthetők egymást, ezáltal egyenletlenül változtatják a szerkezet mechanikai tulajdonságait.

4. táblázat. A melegalakítás hatása az anyag szilárdságára és nyúlására

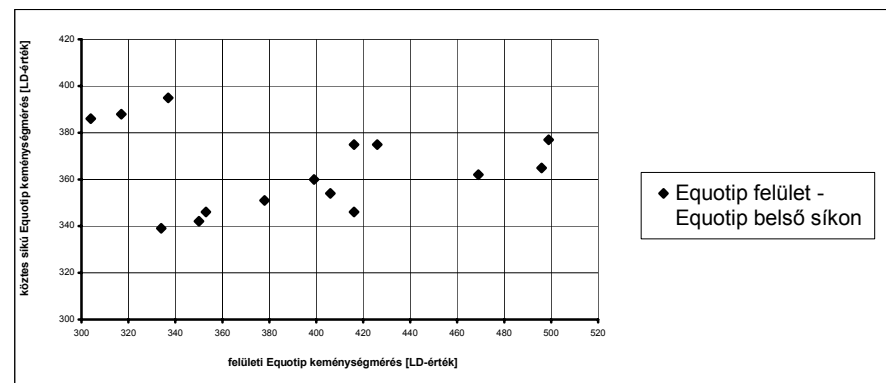
Vas alakításának mértéke [%]	Szakítószilárdság [N/mm ²]	Nyúlás* [%]	Keresztmetszet csökkenés [%]	Forrás
1. próba	65	481	22	(Ledebur, 1890)
	85	510	21	
2. próba	65	486	21	
	90	520	20	
3. próba	65	477	23	
	95	556	18	

*A nyúlás itt az egész próbatest nyúlását jelenti, amelynek eredeti hosszára nincsen adat.

5. táblázat. Alakítás előtti (eredeti állapotú) és kovácsmunka utáni anyagok mechanikai jellemzői

Jel	Anyagminta	Mért folyáshatár [N/mm ²]	Mért szakító-szilárdság [N/mm ²]	Mért nyúlás [%]
U1	szabvány szerinti érték	265	413	36,5
	alakítás előtt	274,9-293,1	420,9-424,6	36,2-36,9
	nyújtott állapot	308,9-353,5	449,9-457,9	35,5-36,6
	zömített állapot	259,3-268,4	441,9-445,7	34,5-34,9

A kovácstűzzel való közvetlen kapcsolat következményeit tapasztaltam a metallográfiai vizsgálatoknál (2. és 3. ábra). A felszínen és a közbülső síkon végzett keménységvizsgálatok értékei között nincs lineáris korreláció (r=-0,35) (6. ábra).



6. ábra. A felületi és a köztes síku keménységmérések közötti kapcsolat

Ezek miatt a hatások miatt a vizsgált minták mechanikai jellemzőinek mérési eredményei a különböző vizsgált helyeken egymástól nagymértékben eltérőek, és egy mintán belül is

jelentős szórás figyelhető meg (2. táblázat). A három hatás közül az utolsó, folytvas kiindulási anyag esetén is fennállhat.

5. tézis: Megállapítottam, hogy a kézműves kovácsolással készített szerkezetek anyagának inhomogenitása a mérési eredményeket jelentősen befolyásolja, ezért elengedhetetlen az ilyen anyagú szerkezeteknél az inhomogenitást okozó tényezők felmérése, azok lehetséges következményeinek figyelembevétele. Ennek alapján a kézműves kovácsolással készített épületszerkezeti elemek vizsgálatánál három egymást kizáró eset különböztethető meg:

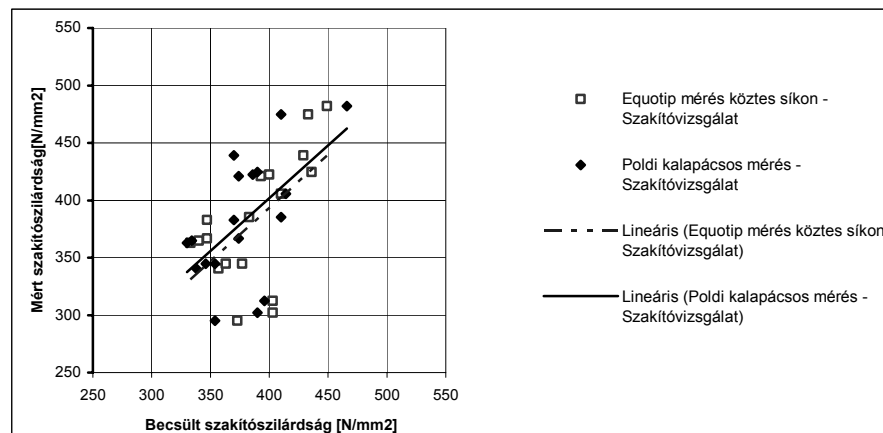
1. Ha egy kovácsoltvas szerkezet anyaga homogén (folytvas), akkor az anyag szilárdsága megfelelő körülmények mellett mobil keménységméréssel becsülhető.
2. Abban az esetben, ha a kovácsoltvas szerkezet anyaga hegeszvas, szilárdsága csak nagy bizonytalansággal becsülhető. Ha az anyag nem tartalmaz kritikus mértékben káros összetevőket (kén, foszfor), és az átvilágító röntgen és ultrahang vizsgálatok alapján a szerkezetben nincs kapcsolati kovácshegesztés vagy a teherbírást befolyásoló anyaghiba, továbbá károsító környezeti feltételekkel (a szerkezet belsejébe is behatoló rozsdásodás) nem kell számolnunk, a szerkezet a korábbi változatlan terhelésnek megfelel.
3. Ha a hegeszvas anyagú szerkezet kovácshegesztett toldást vagy a teherbírást veszélyeztető anyaghibákat (például a keresztmetszet nagy részét elfoglaló salakbezáródást) tartalmaz, tartószerkezeti szerepét a hibák mennyisége és kiterjedése alapján csökkentett mértékben, vagy egyáltalán nem tudja betölteni.

Az acélszerkezetek vizsgálatának eszközei és módszerei homogén anyagszerkezetek vizsgálatához készültek, a kézműves kovácsolással készített épületszerkezetek azonban, több szempontból sem tekinthetők homogénnek. Egyrészt az ilyen épületszerkezeti elemek jelentős része hegeszvas anyagú, amelynek esetében már a kiindulási anyag sem homogén, másrészt a kovácsmunka során az alakítások és a tűzhelyben való melegítés következtében az anyagszerkezetben többféle inhomogenitás is keletkezhet (felkeményedés, karbonizáció,

dekarbonizáció), ami egy mintán belüli eltéréseket is okozhat (2. táblázat). Ezeket a tényezőket a mérések elvégzésénél és azok kiértékelésénél is figyelembe kell venni.

Az alapanyag típusát (hegesz- vagy folytvas) átvilágító röntgen és hátfalvisszhangos ultrahang vizsgálatokkal lehet meghatározni, amelyek során az anyagszerkezet hibáinak és ezek helyeinek meghatározására is mód nyílik.

Folytvas anyagú szerkezet esetében ridegséget káros mértékű foszfor és kén szennyeződés okozhat, ezért fontos ezeknek a lehetőségeknek a kizárása, amely többek között optikai emissziós spektrométerrel való anyagösszetétel-vizsgálattal lehetséges. Az inhomogenitás folytvas anyagban a feldolgozás során alakulhat ki, a keménységvizsgálat mérési helyeinek megválasztásával a szilárdság becsülhető. Amint az a kutatásból kiderült a felületen mért keménység nem ad megfelelő információt a szakítószilárdságról, de folytvas esetén a felülettől néhány milliméter távolságban kialakítható olyan mérőfelület, ahol az anyag tulajdonságairól informatív adatot nyerhetünk. Ezt bizonyítja a mobil keménységmérővel végzett vizsgálatok alapján becsült és a szakítóvizsgálattal mért szakítószilárdságok erős korrelációja, amely a Poldi kalapáccsal való mérésnél $r=0,79$, az Equotip-2-es műszer való mérésnél $r=0,86$ (6. ábra). Homogén anyag esetén lehetséges ezt a mérést a szerkezet állékonysága szempontjából nem meghatározó részen elvégezni.



6. ábra. A becsült és a mért szakítószilárdságok kapcsolata

Hegeszvasnál a ridegséget a fentiekén túl, a keresztmetszet jelentős részét elfoglaló salakbezáródások valamint a felülettel érintkező salakbezáródások mentén a szerkezetbe hatoló korrózió is okozhatja. Ezek a hibák a röntgenfelvételeken felismerhetők. Ha ezekre a jelenségekre semmi sem utal, a szerkezet az addigi terheléseknek megfelel. Szilárdsága az előbbi módon nem becsülhető, mert az inhomogén anyag tulajdonságai miatt a szerkezet egyes részeinek mechanikai jellemzői között nem garantálható összefüggés.

Ha egy hegeszvas szerkezetet korrózió okozta károsodások, jelentős salakbezáródások, vagy kovácshegesztett kapcsolati helyek gyengítenek, a leggyengébb keresztmetszet meghatározására és a szerkezet hirtelen (dinamikus) erőhatásokkal szembeni ellenállóságának felmérésére van szükség. Általános megoldás nem adható, mert a szerkezet jövőjéről való döntést a felhasználás körülményei (helyzet, terhelés, terhelésváltozás) is befolyásolják.

5. AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

Ebben a kutatásban szerény mintavételre volt lehetőség, de a kutatás egy nagyobb léptékű, több adatot feldolgozó, és az itt feltárt problémákat részleteiben elemző munka előkészítésének tekinthető. A kutatás eredményeképpen rendelkezésünkre áll egy kiinduló adatbázis a XVIII-XIX. századra jellemző kovácsvas épületszerkezetek anyagminőségére vonatkozóan, amely a további kutatásokhoz viszonyítási alapot jelent.

Az értekezésben bemutattam egy módszert a kézműves kovácsoltvas épületszerkezeti elemek vizsgálatára. A más területeken már régóta alkalmazott átvilágító röntgenvizsgálat és hátfalvisszhangos ultrahang eljárás bevezetésével feltárhatóak az épített örökség részét képező kovácsoltvas épületszerkezetek elemeinek rejtett, szabad szemmel nem látható hibái, amely ezeknek a szerkezeteknek a preventív védelemét teszi lehetővé.

Kovácsoltvas épületszerkezeti elemek vizsgálata esetén fontos tisztázni, hogy van-e tartószerkezeti feladatuk, és hogy művészeti, örökségvédelmi szempontból jelentős értéket képviselnek-e.

Tartószerkezeti szerepű kovácsoltvas épületszerkezeti elemek

Tartószerkezeti szerepű kovácsoltvas épületszerkezeti elemek vizsgálatánál több eset lehetséges. Eltérő követelményeket támaszt, ha a tartószerkezeti szerepű elemek művészi formálásúak, és örökségvédelmi szempontból is jelentősek, ha a tartószerkezeti elem nem művészi formálású, de kiváltása az épület jellegén is változtatna, és ha a tartószerkezeti szerep az épület jellegének megváltoztatása nélkül kiváltható.

Az általam kidolgozott vizsgálati módszer lehetőséget ad kovácsoltvas épületszerkezeti elemek (például vonóvasak, vonószerkezetek, falkötővasak, bekötővasak) diagnosztikájára. A műemlékvédelem elfogadott elvei szerint az épület eredeti anyagiból és szerkezeteiből minél többet meg kell tartani az utókor számára. Tekintettel kell lenni azonban arra is, hogy a szerkezetek anyaga nem örök, azok minden határon túl való megtartására nincs lehetőség. A gyakorlati műemlékvédelem szempontjából az épület jó állapotának fenntartása és életciklusának meghosszabbítása érdekében célszerű az anyagok és szerkezetek állapotának felmérése és ellenőrzése.

Több nyugat-európai országban működik egy a műemlék épületeket szervizszerűen ellenőrző és karbantartó szolgáltatás. Egy ilyen szolgáltatási rendszer bevezetésére Magyarországon is lenne igény.

Az itt megfogalmazott módszerrel lehetőség nyílna olyan kovácsoltvas épületszerkezetek felülvizsgálatára amelyekkel szemben teherbírasi igény fogalmazható meg. A kovácsoltvas szerkezeti elemek állapotának ellenőrzése által, a veszély előzetes felmérésével lehetőség nyílik többek között boltozatok szétnyílásának megakadályozására. Átvilágító röntgenvizsgálattal és kiegészítő (anyagösszetétel-, ultrahang-, keménység-) vizsgálatokkal megállapítható a kovácsoltvas épületszerkezeti elemek állapota, esetenként megbecsülhető azok szilárdsága, és nem utolsó sorban kiküszöbölhetőek egyes rejtett hibalehetőségek, amelyek hirtelen tönkremenetelhez vezethetnek, ezáltal a szerkezet állékonyságát veszélyeztetik. Ez a módszer a kovácsoltvas épületszerkezetek és a kapcsolódó épületrészek, sőt az épület egészének preventív védelmét is szolgálhatja.

Azokban az esetekben, ha a szerkezet a vizsgálatok alapján veszélyesnek, vagy javíthatatlannak bizonyul, a szerkezeti elem vagy elemek cseréjére, kiváltására van szükség. Amennyiben az épület állékonysága szempontjából ez nem jelent veszélyforrást, célszerű az eredetivel egyező jellegű kialakításra törekedni, különösen olyan esetekben, amikor az épület karakteréhez, megjelenéséhez hozzátartozik a tartószerkezeti elem eredeti megjelenési formája. Ha az épület állékonysága máshogy nem biztosítható, vagy az eredetinel nagyobb biztonságot adó szerkezet alkalmazása mellett az épület karaktere nem változik, az eredetitől eltérő szerkezet alkalmazása is lehetséges.

Művészi formálású kovácsoltvas épületszerkezetek elemei

Egyes művészeti formálású kovácsoltvas szerkezetek (például korlátok, kapuk, kerítésrácok) ugyan nem látnak el tartószerkezeti feladatot, de mégis megfogalmazható velük szemben teherbírasi igény. Ezekben az esetekben hasonlóan célszerű eljárni, mint a tartószerkezeti szerepű szerkezeti elemek esetén.

A művészeti formálású kovácsoltvas szerkezeteknél a kutatás még egy területen felhasználható. Ezeknek a szerkezeteknek a javításánál régen alkalmazott módszer, hogy – ha a károsodás mértéke ezt indokoltá tette – a károsodott szerkezet eredeti elemeit újakra cserélték.

Átvilágító röntgenvizsgálattal lehetséges a kovácsoltvas épületszerkezeti elemek cseréjének, javításának kimutatása. Ez olyan esetekben hasznos, amikor az ilyen szerkezetek javítását nem dokumentálták, de a szerkezet kora és története kutatás tárgyát képezi.

Az ilyen jellegű beavatkozások jól követhetőek, ha az egykori hegeszvas elemeket folytvás anyagúra cserélték, tehát 1880 után javítottak egy kovácsoltvas szerkezetet.

Szintén kimutatható röntgenvizsgálattal, ha egy szerkezetenél eltérő jellegű (eltérő anyagszerkezetű) hegeszvasakat használtak, ilyenkor azonban más körülményeket is figyelembe kell venni, hiszen egyszerre készített szerkezeti elemek között is lehet eltérés. Ebben az esetben a módszer csak a történeti háttér vizsgálatával együtt ad megalapozott eredményt.

6. KITEKINTÉS ÉS JÖVŐBENI KUTATÁSI FELADATOK

Az eddigi eredmények szélesebb körben való értelmezéséhez, a kutatás folytatásaként az ebben a kutatásban szerzett eredmények nagyobb mintavétel alapján, hasonló kísérletekkel való bővítése szükséges.

Az értekezésben az anyag és technológia kapcsolatait tártam fel, amelynek célszerű kiegészítése a forma és a technológia kapcsolatának vizsgálata, vagyis annak értékelése, hogy az alapanyag és annak feldolgozásmódja, milyen mértékben és hol voltak hatással a formavilág alakulására a kovácsoltvas épületszerkezetek történeti fejlődése során.

Az értekezésben nem tértem ki részletesen arra a kérdésre, hogy mit lehet tenni azokban az esetekben, amikor egy kézműves kovácsolással készített épületszerkezeti elem biztosan nem felel meg a használat igénybevételeinek. Ennek megválaszolása részben a szerkezetrekonstrukció, részben a kovácsszakma restaurátori feladatait érinti. Egyes kérdések azonban további kutatás tárgyát, ennek a kutatásnak lehetséges folytatását képezhetik. Szükségesnek tartom a későbbiekben az itt vázolt módszerrel vizsgált esetek tanulságainak levonásával a felmerülő lehetőségek részletes elemzését.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenek előtt hálával és köszönettel tartozom Kiss Jenő témavezetőmnek, és Gyulay Judit tanszékvezetőmnek. Köszönöm Greskovics Sándor, Klafszky Emil, Mályusz Levente, Vattai Zoltán, közvetlen munkatársaimnak, valamint az Építéskivitelezési Tanszék többi oktatójának és dolgozójának, akik segítettek a munkámat.

Kutatásaim támogatásáért és szakmai segítségükért köszönettel tartozom Józsa Zsuzsanna, Kiss Rita tanárnőknek, Barabás Béla, Dévényi László, Krähling János, Mezős Tamás és Vámosy Ferenc tanár uraknak, Imre Lajosnak, az ÉMI Kht. tudományos főmunkatársának, Hrotkó Istvánnénak és a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék más munkatársainak, Mészáros Gézánnak és a Siemens Erőműtechnika Kft-nek, Sóti Gézánnak és a MÁV Felépítményvizsgáló Kht. Acélvizsgálati Laboratórium munkatársainak, Gerzsenyi Ferencnek és a Csőszer Zrt. munkatársainak, valamint Piller György, Takács Zoltán és Félegyházy Károly kovácsmestereknek.

Végül köszönöm a munkahelyi vitán elhangzott javaslatokat, az értekezésben ezeket is felhasználtam.

8. HIVATKOZÁSOK A TÉZISFÜZETBEN

- Breyman, 1890 Breymann, Gustav Adolph (szerk.): *Allgemeine Bau-Construktions-Lehre mit besonderer Beziehung auf das Hochbauwesen* III. rész 1.kötet: Otto Königer: *Die Konstruktion in Eisen*, 5. kiadás, J.M.Gebhardt's Verlag, Leipzig, 1890, 320p.
- Breymann, 1902 Breymann, Gustav Adolph (szerk.): *Allgemeine Bau-Construktions-Lehre mit besonderer Beziehung auf das Hochbauwesen*, III. rész 1.kötet: Otto Königer: *Die Konstruktion in Eisen*. 6. bővített kiadás, J.M.Gebhardt's Verlag, Leipzig, 1902, 374p.
- Edvi, 1900 Edvi Illés Aladár: *A magyar vaskőbányászat és vaskohászat ismertetése, különös tekintettel az 1900 évi párisi nemzetközi kiállításon résztvevő vállalatokra*. Werbőczy, Budapest, 1900, 255p.
- Gordon, 2005 Gordon, Robert, Knopf Robert: Evaluation of wrought iron for continued service in historic bridges, In: *Journal of materials in civil engineering*, 2005 July/August, 393-399
- Karták, 2002 Dr. Román András (szerk.): *Karták Könyve*. ICOMOS Magyar Nemzeti Bizottság - ÉTK, Budapest, 2002, 383p.
- Ledebur, 1890 Ledebur, A.: *Eisen und Stahl*. S. Fisher Verlag, Berlin, 1890, 160p.
- Maurer, 1892 Maurer Mór: A vasfajok, különös tekintettel a hídépítéshez használt vasfajok szilárdsági viszonyaira, *Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönye*, 1892, 196-198
- Nemeskéri, 1958 Nemeskéri Kiss Géza: Hegeszvas szerkezetű vasúti hidak anyagának minőségi vizsgálatai, *Mélyépítési Szemle* **8**, 29-46 (1958)
- Rempert, 1995 Rempert Zoltán: *Magyarország vaskohászata az ipari forradalom előestéjén (1800-1850)*. Montan-Press, Budapest, 1995, 362p.
- Verő-Káldor, 1977 Verő József, Káldor Mihály: *Fémtan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1977, 636p.

9. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Vidovszky I.: Az építészeti kovácsoltvas technológiája, *Magyar Építőipar*. (HU ISSN 0025 0074), **53**(9-10) 267-276 (2003)

Vidovszky I.: *Historical technologies in the field of finishing works*, pp.306-313. In: 6th International Conference of Organisation, Technology and Management in Construction, Moscenicka Draga, Horvátország (ISBN 953-96245-5-X), 2003

Vidovszky I.: The interaction between the finishing works and the architectural appearance in the mirror of the last 100 years, *Építészkar Bulletin* (HU ISSN 1785-9565). 2004, 91-103

Vidovszky I.: Architectural smithcraft, *Hungarian Electronic Journal* (HEJ@ HU ISSN 1418-7108). HEJ Manuscript no.: ARC-040301-A 2004, pp.1-15., <http://heja.szif.hu/ARC/ARC-040301-A/arc040301a.pdf>

Vidovszky I.: Kovácsoltvas épületszerkezetek technológiája, szilárdsági és metallográfiai tulajdonságai, *Építés- és építészettudomány* (HU ISSN 0013-9661). **33**(3-4) 391-436 (2005)

Vidovszky I.: Handicraft-typed historical construction technologies, *Építészkar Bulletin* (HU ISSN 1785-9565). 2005(Special Issue– Conference for PhD and DLA students) 24-26

