

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészmérnöki kar, Csonka Pál Doktori Iskola

Építészettörténeti és Műemléki Tanszék

Jobbik Eszter

KÉSŐ GÓTIKUS HÁLÓBOLTOZATOK GEOMETRIAI ELEMZÉSE,
SZERKESZTÉSTECHNIKÁJA ÉS ÉPÍTÉSI MÓDJAI

PhD értekezés



Témavezető: Dr. Krähling János

Budapest, 2025

Tartalom

1	Bevezetés	4
2	Szakirodalmi keretek, módszertani bevezetés	6
2.1	A kutatási téma lehatárolása	6
2.1.1	Térbeli és időbeli lehatárolás	6
2.1.2	Az esettanulmány alapú vizsgálatok szerepe és jelentősége a téma szempontjából	6
2.1.3	Az esettanulmányok kiválasztásának szempontjai, az esettanulmányok kapcsolatrendszere	7
2.1.4	Az esettanulmányokból való továbblépés lehetőségei és módszerei	9
2.2	Kutatástörténet	10
2.2.1	A bordaháló geometriájára vonatkozó szakirodalom általános áttekintése	10
2.2.2	Hálóboltozatok szerkesztés- és építéstechnikája a szakirodalom tükrében	13
2.2.3	Hálóboltozatok bordáinak egyedi geometriája a szakirodalom tükrében	15
2.2.4	A bordaháló geometriájára vonatkozó szakirodalom kritikai elemzése	16
2.2.5	A bordaháló és süvegfelületek építéstechnikájára vonatkozó szakirodalom áttekintése	18
2.2.6	A feldolgozott esettanulmányok szakirodalmáról	20
2.2.7	A téma definíciói a szakirodalom alapján.....	21
2.3	Kutatásmódszertani bevezetés	22
2.3.1	Épületfelmérési módszerek fejlődése	22
2.3.2	Boltozatvizsgálatok térszkenner alapú felméréssel – a pontosság kérdése	23
2.3.3	“Pontos geometriai leírás”	25
2.3.4	Görbületmérés.....	27
3	Geometriai és szerkezeti összefüggések I. – Tipológiák [1. és 2. tézisek]	29
3.1	Hálóboltozatok bordahálónak és süvegfelületeinek kapcsolata, a süvegfelület globális geometriája	29
3.1.1	Bordarajzolat.....	29
3.1.2	Szintvonalas ábrázolás	30

3.1.3	“Ál-hálóboltozatok” és “valódi hálóboltozatok”	31
3.1.4	Valódi hálóboltozatok süvegfelületeinek építéstechnikája	33
3.1.5	A boltsüvegek globális jellege – “Lineáris” és “centralizáló” hálóboltozatok	36
3.1.6	Az elvi lehetőségek szintjei, kombinálhatósága – összefoglalás	43
3.2	Kiemelt esettanulmány - “Ál-hálóboltozat” vagy “valódi hálóboltozat” kérdése a szeged-alsóvárosi templom hajóboltozatán bemutatva [5.2. tézis].....	45
3.3	Hálóboltozatok bordahálóinak geometriai vizsgálata [3. és 4. tézisek].....	49
3.3.1	Bordaháló globális geometriája	49
3.3.2	Egyedi bordageometria	60
3.4	Kiemelt esettanulmány - A keresztmetszet irányú vetületből kiinduló építéstechnika kérdése a szászbogácsi erődtemplom hajóboltozatának példáján [5.1. tézis].....	64
4	Geometriai és szerkezeti összefüggések II. - Alkalmazások	69
4.1	Építési folyamatok elméleti rekonstrukciói	69
4.2	Boltozatgenealógia [6. tézis].....	74
4.2.1	A nyírbátori templomboltozat és a szeged-alsóvárosi hajóboltozat	74
4.2.2	A szászbogácsi hajóboltozat és a segesvári Hegyi-templom északi mellékhajójának boltozata	77
4.2.3	A landshuti Szent Márton hajóboltozata és a dél-erdélyi téglabordás hálóboltozatok.....	79
4.2.4	A siklósi és az andocsi szentélyboltozatok	82
4.3	A kutatás eredményeinek használhatósága hálóboltozatok elméleti rekonstrukciójánál	
	84	
5	Összegzés	90
6	Köszönetnyilvánítás	93
7	Irodalomjegyzék	94
8	Melléletek jegyzéke	102
9	Ábrajegyzék	103

1 Bevezetés

A késő gótikus hálóboltozatok számos kutatás témáját jelentették keletkezési idejük óta. Ugyanakkor a téma alapvető, általánosan hivatkozott szakirodalma nagyrészt a 19-20. században íródott, tehát jóval a vizsgált szerkezetek építésének ideje után, ám még bőven a nagy pontosságú, háromdimenziós felmérések készítésének technikai lehetőségeit megelőző korban, így a pontos geometriai felmérések – mint a jelen dolgozat esettanulmányainak felméréséhez használt földi lézerszkennerek (térskennerek) is – új, korábban nem vizsgált adatokat nyújthatnak a szerkezetekről. Az új adatok elemzése és értelmezése pedig magában hordozza a potenciált, hogy felülvizsgáljuk és más megvilágításba helyezzük azokat az információkat, melyek eddig rendelkezésünkre álltak a gótikus hálóboltozatokról.

A doktori kutatásom legfontosabb célja a késő gótikus hálóboltozatok szerkesztés- és építéstechnikai módszereinek rendszerezése az új, pontos geometrián alapuló eredmények figyelembevételével, illetve az így felállított rendszer alkalmazhatóságának bemutatása a boltozatgenealógiai kutatások tárgykörében. Az esettanulmányok a dolgozatban tehát egyfelől az új elméleti megfontolások levezetésének kiindulási alapját, másfelől pedig a felállított tipológiákat illusztráló példákat jelentik, valamint tanulságaikat figyelembe véve dolgozatomban kitérek a hálóboltozatok elméleti rekonstrukcióinak kérdéskörére is.

A disszertáció legfontosabb kérdései:

- Hogyan viszonyulnak a téma alapvetéseit jelentő szakirodalmi elvek és módszerek a valós szerkezetekhez, és az azok pontos geometriájának ismeretében feltételezhető és rekonstruálható módszerekhez? Mik az eltérések lehetséges magyarázatai?
- Hogyan építhetők be a valós szerkezetek pontos geometriája alapján levezetett szerkesztés- és építéstechnikák a hálóboltozatok általános, a téma hagyományosan hivatkozott szakirodalmában megjelenő feltételezett szerkesztés- és építéstechnikáinak rendszerébe?
- Hogyan alkalmazhatók az új eredmények alapján létrehozott tipológiák a hálóboltozatok egymással való összefüggéseinek, genealógiai kapcsolatainak vizsgálata során?
- Hogyan befolyásolhatják a valós hálóboltozatok pontos geometriájára vonatkozó új ismeretek a hálóboltozatok elméleti rekonstrukcióinak kérdéskörét?

A dolgozatban közölt eredmények újszerűsége abban áll, hogy a tipológiák bővítésének alapját nem csak absztrakt elméleti levezetés, hanem valós szerkezetek geometriájának pontos

vizsgálata jelenti, melyhez az elérhető egyik legmodernebb technikát, a lézershakkenelést alkalmaztam, és az ebből származó eredmények alapján a téma korábban megkérdőjelezhetetlennek tartott alapfeltevéseit is felülvizsgáltam. Szintén újszerű gondolat a hálóboltozatok egymással való kapcsolatainak háromdimenziós geometriát alapul vevő összehasonlító elemzése – a hagyományos szakirodalmi módszerek általában a hálóboltozatok bordahálójának alaprajzi vetületei (tehát kétdimenziós, idealizált geometria) alapján vizsgálják ezeket a kapcsolatokat.

A dolgozat egyik alappillérét esettanulmányok vizsgálata jelenti. Összesen 9 épület 15 boltozatát vizsgálatam meg. Az esettanulmányok részletes geometriai leírásait és az ezek alapján levont szerkesztés- és építéstechnikai következtetéseket a dolgozat mellékleteként adom közre.

A dolgozatban áttekintem a hálóboltozatokról szóló, a boltozatok keletkezésével azonos időből származó, illetve a későbbi, meghatározó szakirodalmi forrásokat, és ismertetem azok kritikai elemzését. Utóbbi során kijelölöm azokat az alapvetéseket, melyeket az esettanulmányaimból levont következtetések alapján felülvizsgálandónak tekintek.

Ezt követően az esettanulmányok eredményei és egyéb szempontok (geometriai kötöttségek, szerkeszthetőség, építéstechnikai lehetőségek és kötöttségek, állékonyság az építés minden fázisában) figyelembe vételével részletesen ismertetem a felállított tipológiai rendszereket. Ezek közül az első a hálóboltozatok bordahálójának és süvegfelületeinek kapcsolatára, valamint a süvegfelület globális geometriájára fókuszál, míg a második a bordaháló globális geometriájára összpontosít.

Ezután összefoglalom a hálóboltozatok építési folyamatainak geometria-alapú elméleti rekonstrukcióira vonatkozó tanulságokat, melyek a mellékletben az egyes esettanulmányok esetében külön-külön lettek levezetve és kifejtve.

A dolgozat utolsó részében arra térek ki, hogyan használhatók az alkalmazott vizsgálati módszerek és tipológiai rendszerek boltozatgenealógiai kutatásokban, illetve hogy a dolgozatban közölt eredmények alapján milyen új megfontolások merülhetnek fel hálóboltozatok elméleti rekonstrukcióinak kapcsán.

2 Szakirodalmi keretek, módszertani bevezetés

2.1 A kutatási téma lehatárolása

2.1.1 Térbeli és időbeli lehatárolás

A doktori kutatásom témája a késő gótikus hálóboltozatok feltételezhető szerkesztés- és építéstechnikai módszereinek feltérképezése és rendszerbe foglalása. A téma lehatárolásának ilyen megfogalmazása igen tág határok között mozog. A kutatás egyik alappilléret esettanulmányok jelentették, melyeket a 15-16. századi Magyar Királyság emlékanyagából válogattam. Így az esettanulmányok a mai Magyarország területéről és az erdélyi szász erődtemplomok közül kerültek ki. Mindegyik vizsgált boltozat a 15. század végére – 16. század elejére datált szerkezet. Ugyanakkor az esettanulmányokból levont következtetéseket egyéb geometriai, építéstechnikai és a szerkezetek állékonyságát az építés minden fázisában figyelembe vevő szükségszerűségek szem előtt tartása mellett olyan szerkesztés- és építéstechnikai tipológiákká tudtam kibővíteni, melyek alkalmazhatóak nem csak a feldolgozott emlékekre, hanem bármely hálóboltozatra – annak korától és helyétől függetlenül.

2.1.2 Az esettanulmány alapú vizsgálatok szerepe és jelentősége a téma szempontjából

A téma megközelítésének módját a kutatási fázisban egyfelől a boltozatok keletkezési idejéből származó, illetve a később íródott szakirodalom áttekintése és kritikai elemzése, másfelől pedig a magyar emlékanyagból válogatott esettanulmányok geometriai elemzése, és a térszkenneres felmérés eredményei alapján a pontos geometria ismeretében készített egzakt geometriai leírásokat alapul véve szerkesztés- és építéstechnikai elméleti rekonstrukciók készítése jelentette. Úgy gondolom, hogy utóbbi kiemelkedő jelentősége a téma kutatása szempontjából abban áll, hogy a modern felmérési technikák, melyek által a boltozatok pontos geometriája megismerhető, új, korábban nem elemezhető adatokat adnak a kutatók kezébe. Ez azt jelenti, hogy a hálóboltozatok kutatásának történetében először valóban a szerkezet és annak geometriája jelenthetik az elsődleges forrást.

A pontos geometria ismeretében azonosíthatók a teljesen szabályos szerkesztéstől eltérő pozíciójú elemek a boltozatokon belül. Véleményem szerint ezeknek a szabálytalanságoknak a jelentősége abban áll, hogy a “szabálytalanságokban felismerhető szabályosságok” elemzésével esetenként azonosítható a boltozatok szerkesztéstechnikájának egy-egy lépése. A kutatásom során megvizsgált egyes boltozatok esetében az ilyen módon azonosítható

szerkesztési lépések nem feleltek meg a téma szakirodalmában szereplő általános hálóboltozat-szerkesztési elveknek. Ezáltal a konkrét boltozatok esetében olyan, talán csak a helyszíni adottságok (pl. a korábbi épületperiódusok által meghatározott geometriához való alkalmazkodás) miatt alkalmazott módszerek is valószínűsíthetőek, melyekről írott vagy rajzi forrás nem ismert. Egy-egy ilyen új módszer azonosítása a hálóboltozatok geometriai tipológiáin belül új alcsoportok definiálását is jelentheti.

2.1.3 Az esettanulmányok kiválasztásának szempontjai, az esettanulmányok kapcsolatrendszere

Mint a 2.1.1. alfejezetben említettem, esettanulmányaim főként a mai Magyarország területéről és az erdélyi szász erődtemplomok köréből kerültek ki. Az első megvizsgált boltozat a szászbogácsi erődtemplom hajóboltozata volt, melynek felmérésére 2019-ben, az I. Szászbogácsi Nyári Egyetem keretein belül adódott lehetőség. Az e boltozat geometriája alapján valószínűsített, a szakirodalmi források módszereitől eltérő szerkesztéstechnika indította el a doktori kutatást. A többi esettanulmány megválasztásakor a szkennelés lehetőségein túl – mely meghatározó tényezőt jelentett az térszkenner elérhetősége és az utazásszervezés okán – az esettanulmányok potenciális egymással való kapcsolatait vettem figyelembe. Utóbbi jelentősége abban áll, hogy a kutatás primer eredményét jelentő tipológiák elsődleges alkalmazásának az épületkutatásban a korábbi szempontoknál bővebb, háromdimenzióban értelmezett geometriát alapul vevő boltozatgenealógiai következtetések felállítását tartom. Az eredmények ilyen felhasználásának érdekében igyekeztem a szakirodalomban gyakran párhuzamba állított épületeket és épületcsoportokat választani.

Összesen 9 épület 15 boltozatának elemzését végeztem el a doktori kutatás során. Ezek a következők:

- Szászbogács (Băgaciu/Bogeschedorf, RO), erődtemplom, hajóboltozat (Melléklet 1.)
- Segesvár (Sighișoara/Schäßburg, RO), Hegyi-templom, déli és északi mellékhajók és a főhajó boltozatai (Melléklet 2.)
- Medgyes (Mediaș/Mediasch, RO), erődtemplom, hajó-, szentély- és sekrestyeboltozatok (Melléklet 3.)
- Landshut (DE), Szt. Márton-templom, főhajóboltozat (Melléklet 4.)
- Szeged-Alsóváros, Havas Boldogasszony-templom, hajó-, szentély és sekrestyeboltozatok (Melléklet 5.)
- Nyírbátor, Szent György-templom, templomboltozat (Melléklet 6.)

- Andocs, Nagyboldogasszony Bazilika, szentélyboltozat (Melléklet 7.)
- Siklós, várkápolna, szentélyboltozat (Melléklet 8.)
- Gyulafehérvár, Lázói-kápolna boltozata (Melléklet 9.)

A szászbogácsi erődtemplom hajóboltozatához legszorosabban kapcsolható boltozatokat a segesvári Hegyi-templom hajóboltozatai és a medgyesi erődtemplom boltozatai jelentették. E két épület a dél-erdélyi szász terület jelentős központjaiban állt – míg Szászbogács egy falu Medgyes szék területén – mely szintén szerepet játszott kiválasztásukkor. A segesvári északi mellékhajó boltozata nem csak a szakirodalomban fellelhető építéstörténeti és feltételezett műhelykapcsolatok szempontjából, hanem formai szempontból is analógiáját jelentheti a szászbogácsi boltozatnak: A boltozat bordahálójának alaprajzi rajzolata a két esetben megegyezik, mely a szakirodalomban sokszor jelenik meg két boltozat szoros kapcsolatának indikátoraként¹. A Segesváron dolgozó műhely, miután a téglabordás hálóboltozatok “születési helyéről”, Landshutból meghonosította a szerkezetet Erdélyben², feltételezések szerint szétszéledt, mely eredményeként Segesvár és Medgyes székek területén számos templom kapott ilyen jellegű boltozatokat.³ Az esettanulmányok körébe a landshuti műhely hatásának segesvári kisugárzása okán kerülhetett be a landshuti Szent Márton-templom főhajóboltozatának elemzése is. (A téglabordás boltozás módszerét e templom építőműhelyében kísérletezhették ki.⁴)

A szeged-alsóvárosi Havas Boldogasszony-templom egyrészt a korszak magyar emlékanyagában elfoglalt kiemelt jelentősége, másrészt a Harsányi István által felvetett dél-erdélyi emlékanyaggal való kapcsolata⁵ miatt került be az esettanulmányok körébe. A szegedi hajóboltozat és a nyírbátori Szent György-templom boltozatának a szakirodalomban szinte alapvetésként kezelt szoros kapcsolata⁶ (egy királyi építőműhely megmaradt emlékeiként) indokolta a nyírbátori boltozat vizsgálatát.

¹ Guzsik 2003; Szőke 2012

² Fabini és Fabini 1985, 83; Szőke 2012, 204

³ Szőke 2012, 204

⁴ Szőke 2012, 204

⁵ Harsányi 2005, 50

⁶ Nagy 1944, 92; Bálint 1966, 13; Levárdy 1980, 7; Császár 1987-88a, 153

Az andocsi Nagyboldogasszony Bazilika szentélyboltozata és a siklói várkapolna szentélyboltozata szintén a magyar emléktárhelyek egy jól definiált csoportjának elemeit jelentik a szakirodalomban⁷ a térgörbe bordás hálóboltozatok ritka példáiként.

A gyulafehérvári Lázói-kápolna boltozata elsősorban a szkennelésre adódó lehetőség következtében került be az esettanulmányok sorába. Ennek az elemzésnek az eredményei a jelen dolgozatban taglalt egyik résztema, a "csillagháló" boltozatok értelmezése tekintetében hoztak új eredményeket. A boltozatot végül e témakörben (és a hasonló arányú és osztású lefedett terek okán) a medgyesi és szeged-alsóvárosi sekrestyeboltozatokkal összefüggésben tárgyaltam.

2.1.4 Az esettanulmányokból való továbblépés lehetőségei és módszerei

Mint a 2.1.1. alfejezetben kifejtettem, az esettanulmányok tanulságait, és az egyes esetekben rekonstruált szerkesztés- és építéstechnikai módszereket egyéb szempontok (geometriai kötöttségek, szerkeszthetőség, építéstechnikai lehetőségek és kötöttségek, állékonyság az építés minden fázisában) figyelembe vételével az esettanulmányok körén túl is érvényes és alkalmazható szerkesztés- és építéstechnikai tipológiákká tudtam fejleszteni. E tipológiák felállításakor éltem bizonyos alapvető feltételezésekkel, melyek helyessége ugyan az építés óta eltelt idő távlatából nem minden esetben bizonyítható, alkalmazásukat mégis megköveteli az építési logika és a józan ész. Ilyen feltételezések voltak többek között, hogy az épületek kitézése az épületkontúrokhöz és az épület tengelyeihez alkalmazkodó koordináta-rendszerben történt, a kitézési és az építési folyamatok a boltozat valamely meghatározó, a boltozat határát jelentő síkról indultak meg (nem pedig a boltozatot metsző síkról) vagy hogy az építés során alapvetően törekedtek a lehető legegyszerűbben és legtakarékosabban megszerkeszthető és megépíthető megoldások alkalmazására (a megkívánt művészi színvonal megtartása mellett). Így az esettanulmányok elemzésének eredményei által kijelölt irányokban ezeknek, és hasonló alapvető szempontoknak a figyelembevétele mellett logikai úton jutottam el a tipológiák alap kategóriáinak felállításáig.

A dolgozat mellékletében megtalálhatók az esettanulmányok részletes elemzései, és az egyes esetekben a kikövetkeztetett szerkesztés- és építéstechnikai megoldások levezetése. A tipológiák ismertetésekor ezekre az esettanulmányokra visszautalva állapítottam meg a

⁷ Császár 1970, 67; Szőke 2009b, 113

kategóriákat és alkategóriákat, és az esettanulmányokat az egyes kategóriák szemléltető példáiként is felhasználtam.

2.2 Kutatástörténet

2.2.1 A bordaháló geometriájára vonatkozó szakirodalom általános áttekintése

A késő gótikus hálóboltozatok építés- és szerkesztéstechnikájával foglalkozó átfogó szakirodalom, noha számos forrás ismert, nagyrészt a szerkezetek építési ideje után keletkezett.⁸ Ilyenek a téma legtöbbet hivatkozott alapművei is: Bartel Ranisch *Beschreibung aller Kirchengebäude der Stadt Dantzig...*⁹, Friedrich Hoffstadt *Gothisches ABC-Buch*¹⁰, Otto Warth *Die Konstruktionen in Stein*¹¹ és Georg Gottlob Ungewitter *Lehrbuch der gotischen Konstruktionen*¹² című munkái. Ezek a munkák alapvetően a keletkezésük korának technikai lehetőségei szerint végzett felméréseken, valamint a szerzők megfigyelésein és elméleti rekonstrukcióin alapultak, illetve egymástól vettek át gondolatokat¹³ (és esetenként ábrákat is). E források értékelésekor nem szabad tehát figyelmen kívül hagynunk azt, hogy az alkalmazott módszerek, különösen a felmérések tekintetében nem adnak elég részletes eredményt ahhoz, hogy az eredeti (középkori) módszerekre érdemben következtetni engedjenek.¹⁴

A szakirodalom egy kisebb része viszont még a késő gótikus boltozatok építésével azonos időszakból származik. Geometriai problémák megoldásáról, általános szerkesztési elvekről, és esetenként konkrét építészeti részletek megoldásáról a teljes gótikus periódusból ismerünk forrásokat, többek között Villard de Honnecourt vázlatkönyvét a 13. századból¹⁵, Lorenz Lechler¹⁶ vagy Matthias Roriczer¹⁷ műveit a 15. század végéről, illetve az ismeretlen szerző

⁸ Fitchen 1961, 5.

⁹ Ranisch 1695.

¹⁰ Hoffstadt 1840.

¹¹ Warth 1896.

¹² Ungewitter 1901.

¹³ Ismert, hogy Ungewitter Ranisch és Hoffstadt műveiből is dolgozott. (Ungewitter 1901, 68., Pliego 2012, 218.)

¹⁴ Wendland 2007, 312.

¹⁵ Böker 2005, 15.; Fitchen 1961, 6.

¹⁶ Shelby 1972, 419.

¹⁷ Shelby 1972, 411.

által készített *De inquisitione capacitatis figurarum* című munkát.¹⁸ Ám a 14-16. századi periódusból kifejezetten boltozástechnikáról szóló műből kevés van. Ezek közé tartoznak a Wiener Bauhütte tervdokumentációi¹⁹, a 16. századi drezdai vázlatfüzet²⁰, Rodrigo Gil de Hontañon rajza²¹, az Ms. 12686 számú kézirat a Spanyol Nemzeti Könyvtárból²², vagy WG mester vázlatkönyve²³.

Doktori kutatásom során nem csak a fent említett alpművek, hanem az e műveket elemző-értelmező munkák is fontos forrást jelentettek. A vizsgált boltozatok építésével egyidőben keletkezett forrásokra vonatkozóan Johann Joseph Böker *Architektur der Gotik...*²⁴, François Bucher *Architector. The Lodge Books and Sketchbooks of Medieval Architects*²⁵, Werner Müller Jacob von Andernachról²⁶ és Hoffstadt *Gotisches ABC-Buch*-járól²⁷ szóló, Elena Pliego Ungewitter *Lehrbuch*-ját taglaló²⁸, Lon R. Shelby és R. Mark Lorenz Lechler traktátusát elemző²⁹ és David Wendland Lassaulx elméletéről szóló³⁰ munkái. Szintén kiemelkedő jelentőségű volt kutatásom szempontjából a középkori boltozatépítési technikákat taglaló kortárs források megismerése. Ilyen, kutatásom során feldolgozott munkák John Fitchen³¹,

¹⁸ Shelby 1972, 412.

¹⁹ Böker 2005, 15.

²⁰ Bucher 1972, 47.

²¹ Huerta 2012, 173.

²² Baño 2020

²³ Bucher 1979, 195.

²⁴ Böker 2005.

²⁵ Bucher 1979.

²⁶ Müller 1974.

²⁷ Müller 1975.

²⁸ Pliego 2012.

²⁹ Shelby – Mark 1979.

³⁰ Wendland 2012.

³¹ Fitchen 1961.

Jean-Marie Guillouët³², Santiago Huerta³³, Werner Müller³⁴, Arnold Pacey³⁵, Clemens Voigts³⁶ és David Wendland³⁷ művei.

John Fitchen könyvében elsősorban a középkori boltozatépítés gyakorlati problémáival foglalkozik, az állványzat, építés közbeni segédszerkezetek és zsaluzatok feltételezett kialakításának bemutatásával, kiemelve, hogy utóbbi az, melyről a legkevesebb fennmaradt ismerettel rendelkezünk.³⁸ Fitchen művében bemutatja a teljes felületű zsaluzat nélkül épített boltozás lehetséges technikai megoldásait is.³⁹

Jean-Marie Guillouët könyvében a gótikus építészet technikai megoldásairól szóló tanulmányokat ad közre, melyek alapjául sok esetben az épületeken vagy épületszerkezeteken magukon fellelhető nyomok (mint a bordaprofilok faragásához támpontot adó karcolatok) szolgálnak.

Santiago Huerta *Technical Challenges in the Construction of Gothic Vaults: The Gothic Theory of Structural Design* című művében áttekintést nyújt a főleg empirikus alapokon nyugvó, arányokra vonatkozó szabályrendszerekben kifejezhető gótikus tervezési elvekről, majd ezeket a modern szerkezetekre vonatkozó elméletek kontextusába illeszti. A bordás boltozatok geometriájának tekintetében a bordák profiljának szerkesztésére tér ki részletesen.

Werner Müller könyvében nemcsak a gótika arányrendszerét, és a gótikus építőmesterek feltételzhető geometriai ismereteit taglalja, hanem kitér a késő gótikus hálóboltozatok bordahálójának szerkesztési módjai is, melyhez a jelen dolgozat elkészítéséhez is felhasznált korai szakirodalmat, valamint saját mérési eredményeit (pl. bordagörbületek mérése a nürnbergi Szt. Lorenz templom szentélyében⁴⁰) veszi alapul, utóbbihoz feltételezett szerkesztési módszereket is megadva.

³² Guillouët 2019.

³³ Huerta 2012.

³⁴ Müller 1990.

³⁵ Pacey 2007.

³⁶ Voigts 2014.; Voigts 2021.

³⁷ Wendland 2007.

³⁸ Fitchen 1961, 28.

³⁹ Fitchen 1961, 182, 69. ábra

⁴⁰ Müller 1990, 162, 149. ábra.

Arnold Pacey könyvében a középkor szerkesztéstechnikáira fókuszál, külön figyelmet fordítva az 1:1 arányban felszerkesztett építészeti részletek jelentőségére.

Clemens Voigts több művében is foglalkozik hálóboltozatok süvegfelületeinek kialakításával. Kutatásai során a jelen dolgozatban alkalmazott módszertanhoz hasonlóan Voigts is 3D lézerszkenneres technikával vizsgálta e boltozatok süvegfelületeinek pontos geometriáját, mely alapján azok építéstechnikájára következtetett. (Voigts a geometriai vizualizálására a vizsgált szerkezetek szintvonalas ábrázolását használta.) Dolgozatomban az általa megfogalmazott geometriai összefüggéseket a süvegfelületek vizsgálatai során felhasználtam, amire a 3.1.4. alfejezetben térek ki részletesen.

David Wendland 2007-es cikkében a kézből falazott boltozástechnika elméleti és gyakorlati aspektusait ismerteti részletesen.

2.2.2 Hálóboltozatok szerkesztés- és építéstechnikája a szakirodalom tükrében

A hálóboltozatok bordaháló-geometriájának leírása és vizsgálata során a szakirodalom fókuszát alapvetően a bordacsomópontok⁴¹ térbeli pozíciója jelenti, mind a kortárs szakirodalomban⁴², mind a téma “klasszikus” szakirodalmában.

A szakirodalmi források mind megegyeznek abban a szemléletben, hogy a hálóboltozatok bordahálójának megszerkesztésekor az első lépés a bordarajzolat alaprajzi vetületének felrajzolása (ld. még: lejjebb). Az alaprajzi szerkesztés alapelveinek potenciális módszerei tekintetében számos megközelítés elképzelhető. A legalapvetőbb ilyen elvek a négyzethálón (mint Schulze módszere⁴³), az egymásba írható (45°-kal) elforgatott négyzeteken⁴⁴, a trianguláción⁴⁵ és a szerkesztőkörökön⁴⁶ alapuló módszerek. Az alaprajzi bordaháló-rajzolatok

⁴¹ Fontos kiemelni, hogy az elemzett példák egy része téglabordás boltozat. A téglabordás boltozatok bordahálójában általában nincsenek csomóponti elemek, mindössze az elemek vége van egymáshoz illetve habarcsos kötésben. (Szőke 2012, 207.) Tehát amikor dolgozatomban és mellékletében csomópontokról beszélek, az az elvi csomópont pozícióra, nem pedig csomóponti bordahálóelemre vonatkozik.

⁴² Müller 1975.; Wendland 2010, 30-31.; Huth 2020, 27.

⁴³ Müller 1975, 45.

⁴⁴ Hoffstadt 1840, XIV. A.; Müller 1975, 52.; Pacey 2007, 73-74.; Guillouët 2019, 63.

⁴⁵ Pacey 2007, 73-74

⁴⁶ Pacey 2007, 77.

szerkesztésének lehetőségeit vizsgálva Császár László odáig ment, hogy ez alapján alkotta meg a hálóboltozatok egymásból való leszarmaztatásának rendszerét.⁴⁷

Az előállt alaprajzi bordaháló-vetületekhez ezután magassági értékeket kell rendelni. Ennek szintén számos módját írták le a szakirodalomban. Ezek egy része a hálóboltozatok geometriájának felületekkel való közelítésére fókuszál, tehát az alaprajzon meghatározott csomópont-vetületek magassági pozícióját a bordaháló-geometriát leíró felületre való felvetítéssel származtatják. A szakirodalomban e megközelítés példáit jelentik a keresztboltozathól⁴⁸, legyezőboltozathól⁴⁹ és dongaboltozathól⁵⁰ származtatható hálóboltozatok (illetve a gömbfelületből származtatható csillagboltozatok⁵¹). A dongaboltozatokból származtatható hálóboltozatok esetén a boltozat keresztirányában meghatározott vezérgörbéjén túl gyakori alapelv az is, hogy a boltozat átlós irányban futó bordáit határozzák meg szabályos alakú ívben (félkörív, szabályos csúcsív), és a többi borda alakja e megkötésből származtatható.⁵²

Véleményem szerint, amennyiben ilyen elvek mentén valóban épültek hálóboltozatok, a felületeket, melyek meghatározzák a bordaháló geometriáját, általában nem mint az építés során megjelenő fizikai objektumokat (építés közbeni segédszerkezeteket), hanem mint a vonalszerű építés közbeni segédszerkezet-rendszer elméleti hátterét és kiszerkesztésének alapját kell tekintenünk. A vonalszerű segédszerkezetek nem csak építéstechnikai előnyökkel járnak, hanem anyagfelhasználás és munkamennyiség szempontjából is sokkal takarékosabb megoldásokat jelentenek⁵³.

A szakirodalomban megjelenő, a bordacsomópontok magassági pozíciójának meghatározására irányuló módszerek másik része az eddig ismertetett, felületekkel közelítő módszerekkel szemben a "lineáris szemléletet" követi. E megközelítés leggyakrabban idézett példája a

⁴⁷ Császár 1987-88a.; Császár 1987-88b.

⁴⁸ Warth 1896, 254-55.; Ungewitter 1901, 63.

⁴⁹ De l'Orme 1567, 108.; Warth 1896, 257.

⁵⁰ Warth 1896, 258.; Ungewitter 1901, 64-65.

⁵¹ Hontañon rajza (közli: Dopazo 2016.); Warth 1896, 258-60.; Ungewitter 1901, 64.

⁵² Ungewitter 1901, 64.

⁵³ Hontañon rajzán is ez az elv figyelhető meg: a gömbfelületből származtatható csillagboltozat építés közbeni segédszerkezete függőleges támaszokból áll. (Hontañon rajzát közli: Dopazo 2016, 1117, fig. 10.)

“leghosszabb út elvén” való szerkesztés, mely a 16. századi drezdai vázlatkönyvben⁵⁴ és Lorenz Lechler munkájában⁵⁵ tűnt fel először, majd Hoffstadt⁵⁶, Ungewitter⁵⁷ és Carl Anton Meckel⁵⁸ művei által a hálóboltozatszerkesztés szakirodalmának egyik alapvetésévé vált. Az elv lényege az, hogy a bordacsomópontok magasságának megszerkesztéséhez a bordaháló alaprajzi vetületén, a bordák mentén meg kell határozni a lehető leghosszabb (de visszafordulást nem tartalmazó) bordautat a vállponton a záradékig. Az így adódó törtvonal szakaszait egy egyenes mentén egymás után felmérve kapjuk meg annak a körívnek a sugarát, melyre az egymás után felmért szakaszok végpontjait merőlegesen felvetítve adódnak a magasságok. (Az elv szerint az így kapott sugár egyben a bordák görbületi sugarát is jelenti – mely feltételezi a vezérgörbe szerkesztés elvének érvényességét is [ld. később].)

2.2.3 Hálóboltozatok bordáinak egyedi geometriája a szakirodalom tükrében

A hálóboltozatok bordáinak egyedi geometriája kapcsán a szakirodalom jellemzően a bordák görbületi sugarára fókuszál: a vezérgörbe-szerkesztés elve a szakirodalom egy részének fontos alapvetését jelenti⁵⁹. Az elv első ismert leírásai a 16. századból ismertek: Lorenz Lechler traktátusa⁶⁰ és Jacob von Andernach kézírata⁶¹. A vezérgörbe-elv lényege az, hogy egy adott boltozat bordahálóján belül minden boltozati bordának azonos a görbületi sugara. A görbületi sugár meghatározásának módszerére több lehetőséget is felvetnek a források: a legegyszerűbb, átlóra írható kört alapul vevő technikától (csillagboltozatok esetén)⁶² a leghosszabb út elvével együtt alkalmazott módszerig (ld. feljebb). A vezérgörbe szerint készített bordák a bordaelemek gyártásának egyszerűbbé tétele és így az építési folyamat gyorsítása tekintetében lehettek előnyösek.⁶³

⁵⁴ Bucher 1972, 47.

⁵⁵ Shelby – Mark 1979, 125.

⁵⁶ Hoffstadt 1840, XIV.A/5.

⁵⁷ Ungewitter 1901, 67-68.

⁵⁸ Meckel 1933.

⁵⁹ Ranisch 1965, Hoffstadt 1840, Meckel 1933, Müller 1990, Tomlow 1991

⁶⁰ Shelby – Mark 1979

⁶¹ Müller 1974

⁶² Ranisch 1695, Pliego 2012

⁶³ Renn et al. 2014, Vidal 2017

Ugyanakkor már a 19. századtól megjelentek a vezérgörbe-elv általános alkalmazását megkérdőjelező vélemények.⁶⁴ Kortárs, modern eszközökkel végzett vizsgálatokkal is bizonyították olyan boltozatok létét, melyekre nem igaz az elv, noha más esetekben hasonló vizsgálatok pont az elv alkalmazását támasztották alá.⁶⁵ Így a hálóboltozatok bordahálójának vizsgálata során a görbületi sugarak elemzése fontos lépést jelentett kutatásom során.

A szakirodalmi művek az egyedi bordageometria tekintetében jellemzően nem térnek ki a görbületi sugáron kívül más jellemzők (mint a bordák húr hossza) vizsgálatára.

2.2.4 A bordaháló geometriájára vonatkozó szakirodalom kritikai elemzése

A felsorolt alapművek ábraanyagát áttekintve egyértelműen megállapítható, hogy a későbbi elemzések alapjául szolgáló rajzok minden esetben nagyon szabályos, rendezett boltozatgeometriát mutatnak (többek között a boltozandó tér kontúrjai vagy a boltozat bordarajzolata tekintetében). Úgy vélem, ez a művek keletkezési korszakában elérhető felmérési módszerek miatt lehetett így, melyek (különösen fej fölötti szerkezetek esetén) a precíz méretlevételt nem teszik lehetővé.⁶⁶ Így a mérési eredmények visszaszerkesztésekor a szerzők óhatatlanul a szabálytalanságok elhanyagolása és kiküszöbölése felé hajlottak azok ábrázolása helyett, hiszen a pontatlanságokat okozhatta a mérések bizonytalansága is. Ám ezek a közelítések nem alkalmasak olyan esetek figyelembe vételére, mint az épület korábbi építési periódusai során összeadódó pontatlanságok (például az alaprajzi kontúrok tekintetében), melyek végül a boltozatszerkezet geometriáját is befolyásolhatják, ahogy az több jelen disszertációban megvizsgált példa esetén is bebizonyosodott (ld. Melléklet 1., 2.).

⁶⁴ Lassaulx 1835, idézi Wendland 2012

⁶⁵ Voigts 2015

⁶⁶ Természetesen elképzelhető az, hogy az adott korszak kutatói számára a pontos geometria kérdésköre nem hordozott akkora jelentőséget, mint jelen kutatás esetében. Ennél fogva lehet, hogy az egyszerűsítésre törekvő ábrázolásra a művek szerzői nem kényszerültek megoldásként tekintettek, hanem az teljes mértékben megfelelt az általuk elérni kívánt célnak. Ugyanakkor az, hogy a felméréstechnika kötöttségei nem is tették volna lehetővé a pontos geometria megismerését, tényszerű megállapítás, mely rámutat az itt elemzett művek és a mai szemlélettel készülő munkák különbségének egy lehetséges indokára.

Az idézett művek szövege és ábraanyaga egyértelműen mutatja, hogy a szerzőket foglalkoztatta az általuk vizsgált szerkezetek geometriájának szerkeszthetősége és az építéstechnika kérdései, mely vizsgálatának szükségszerűen határt szab a kiindulási geometria (jelen esetben a valós szerkezetek geometriája) hiányos ismerete. Ugyanakkor annak felismerése, hogy az egyes, ránézésre igen hasonló kialakítású szerkezetek geometriája jelentős eltéréseket hordozhat, megkövetelte e geometria megismerésének technológiai feltételeit, így valóban kétséges lehet az, hogy az itt idézett korai szakirodalomban igény lett volna az egyedi vonások értelmezése. Ilyen értelemben az egyszerűsítő, általánosító hozzáállás a szükségszerűségeen túl fakadhat a korabeli értelmezés szerinti szerkezetcsoportok egységes kezelésének igényéből is.

A téma alapléveinek másik jellegzetes közös vonása a hálóboltozatok szerkesztés- és építéstechnikája tekintetében az, hogy minden esetben a bordarajzolat alaprajzi vetületének felszerkesztését tekintik a boltozatszerkesztés első lépésének. Ennek az elméletnek valóban vannak ismert bizonyítékai: léteznek példák bordaháló-alaprajzok 1:1 arányú szerkesztett karcolatára és a bordák görbületének kiforgatott szerkesztése is fennmaradt, többek között Wells katedrálisában⁶⁷, továbbá Lorenz Lechler is leírja a módszert fiának szóló traktátusában⁶⁸, valamint Rodrigo Gil de Hontañon művében is megjelenik⁶⁹. A fentiek ismeretében nem meglepő, hogy számos kortárs szakirodalmi műben is ez a módszer jelenik meg, mint a hálóboltozat-szerkesztés kizárólagos technikája.⁷⁰ (A bordaháló-alaprajzhoz a források különféle módon rendelnek magassági értékeket.) Ugyanakkor tagadhatatlan, hogy számos példája van a szabad szemmel láthatóan is “torz” bordahálóval rendelkező hálóboltozatoknak, és kisebb, szabad szemmel nem feltétlen látható szabálytalanságok is gyakran előfordulnak. (A jelen disszertációban feldolgozott esettanulmányok közül az előbbi esetet példázhatja a szászbogácsi erődtemplom hajóboltozata [Melléklet 1.], utóbbit pedig a szegedi Havas Boldogasszony-templom [Melléklet 5.3.], vagy az andocsi Miasszonyunk Bazilika [Melléklet 7.] szentélyboltozatai)

Doktori kutatásomban az esettanulmányok feldolgozása során kiemelt jelentőséget tulajdonítottam annak, hogy a valós szerkezetek pontos geometriájának elemzésekor a fenti két alapvetés (a valós szerkezetek szabálytalanságainak elhanyagolása, és az alaprajzi szerkesztés elsődlegessége) igazolhatóságát is vizsgáljam, és amennyiben nem találtam őket igazolhatónak, ezeket az alapvetéseket elvetve más szerkesztési elvek lehetőségét is ellenőrizzem. Több esettanulmányom eredménye is igazolta a fent idézett alapvetések elhagyásának létjogosultságát⁷¹ (Melléklet 1.; Melléklet 2.).

A szakirodalmi ábrák kapcsán fontosnak tartom kiemelni, hogy ezek az esetek többségében szerkezeti vastagság nélkül, vonalasan mutatják be a boltozati bordák rajzolatát és a kapcsolódó szerkesztések eredményeit. Az ilyen módon készített szerkesztéseken a boltozati bordócsomóponti elemek pozícióját egyetlen (metszés)pont jeleníti meg. Amennyiben a

⁶⁷ Pacey 2007, 71.

⁶⁸ Shelby – Mark 1979, 123.

⁶⁹ Huerta 2012, 173.

⁷⁰ Fitchen 1961, 159.; Pacey, 2007, 62.; Wendland – Degenève 2017, 164.

⁷¹ Jobbik – Krähling 2022a; Jobbik – Krähling 2023b; Jobbik – Krähling 2024a; Jobbik – Krähling 2024b

szerkesztéseket az építők a valóságban is elvégezték, ugyanúgy vonalak és (metszés)pontok rendszere az elsődleges eredmény. Úgy gondolom, hogy ezeket alapvetően a bordacsomóponti elem alsó síkján kell értelmeznünk, mivel a szerkesztések segítségével meghatározott alaprajzi és magassági pozíciókat az építés közbeni segédszerkezetekkel így a legkézenfekvőbb beállítani. (Hontañon rajzán, mely szerkezeti vastagságot is ábrázol, egy csillagboltozaton ugyanez az elv jelenik meg⁷², és az általam megvizsgált esettanulmányok többsége is erre utalt – a gyulafehérvári Lázói-kápolna boltozatának kivételével [Melléklet 9.4].) Ugyanakkor természetesen nem elképzelhetetlen, hogy a bordaprofil tervezett magasságával kalkulálva a szabályos szerkesztést a bordák felső síkjára hozták ki. A gyulafehérvári Lázói kápolna esetében talán erre látunk példát a keresztmetszet irányú vetületeken azonosított szerkesztést tekintve.⁷³ (Melléklet 9.4.1.3.) Az ilyen, kicsit bonyolultabb megoldásnak talán a térarányok szigorú szerkesztettségére való, reneszánsz szellemben született igény és törekvés lehet a magyarázata.

2.2.5 A bordaháló és süvegfelületek építéstechnikájára vonatkozó szakirodalom áttekintése

A hálóboltozatok bordahálójának és süvegfelületének kapcsolata tekintetében a szakirodalmi források szerint két alapvető módszert különíthetünk el. A gyakrabban idézett módszer szerint a hálóboltozatok bordahálója a süvegfelület előtt készül el, és a süvegek építése során annak bennmaradó zsaluzataként szolgált.⁷⁴ Ebben az esetben a süvegeket a bordahálóra kétféleképpen építhették meg: vagy teljes felületű zsaluzat készült, és arra épültek a süvegek, melyek csak a teljes süvegfelület elkészülte után válnak önhordóvá⁷⁵, vagy kézből építették őket, tehát a süvegek minden egyes sora önálló, önhordó boltövként készült el.⁷⁶ Előbbi esetben előfordulhatott az, hogy a zsaluzat már az építés során megsüllyedt, és így az adott süveg

⁷² Hontañon rajzát közli: Dopazo 2016, 1117, fig. 10.

⁷³ Jobbik – Halmos

⁷⁴ A módszert először Saunders írta le 1814-ben, majd Willis pontosította 1842-ben. (Közli: Wendland 2007, 342.) Szintén leírja: Ungewitter (1901, 37.)

⁷⁵ Voigts 2021, 78.

⁷⁶ A kézből falazott boltozatok esetén a süvegfelület alakjának fontosságát (rövid és ívelt téglasorok használata) Ungewitter is kiemeli. (Ungewitter 1901, 110.)

enyhén deformálódott, “behorpadt” formában készült el.⁷⁷ Utóbbi esetben elképzelhető mintáivék alkalmazása⁷⁸, de anélkül is működhet a módszer⁷⁹.

Már Ungewitter is kiemelte, hogy a falazat készítésének módja (zsaluzattal vagy kézből falazva) nem feleltethető meg egyértelműen egy adott falazati képnek: például a rigai székesegyház íves sorokkal (“kupolaszerűen”) falazott süvegei esetén a záradék melletti részeken az egyszerűbb kivitelezés érdekében a téglasorok irányát tekintve számos variáció megjelenik.⁸⁰ Clemens Voigts bebizonyította, hogy egy adott boltozaton belül lehetnek teljes felületű zsaluzattal és anélkül épített süvegek vegyesen is, minden boltmező esetében az alkalmasabb módszert használva⁸¹ (a boltmező fesztávjától vagy az adott helyen a süvegfelület meredekségétől függően).

A szakirodalmi forrásokban ugyan ritkábban merül fel, de létezik az az elmélet is, mely szerint egyes hálóboltozatok esetén nem a bordaháló készül el elsőként, hanem a “süvegfelület”. Utóbbi ebben az esetben dongaboltozat, melyre a bordahálót utólag, kizárólag díszítés céljából erősítik fel. (Nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt sem, hogy a kész dongaboltozat alá utólag beépíteni a bordahálót építéstechnikai szempontból, bár nem megoldhatatlan, de kihívásokat tartogató feladat lehetett.) Ez az elmélet gyakran a téglabordás boltozatok kapcsán merült fel a szakirodalomban⁸², noha e szerkezetek esetében is publikáltak ellentétes véleményeket.⁸³

Egyes művekben az is felmerült, hogy annak ellenére, hogy a bordák építése megelőzhette a süvegeket, a süvegeket már a bordák befejezése előtt elkezdhatték építeni, így a két folyamat lényegében párhuzamosan haladhatott.⁸⁴ Véleményem szerint utóbbi módszer alkalmazása nem valószínű, hiszen a bordákat építés közben tartó fa szerkezetekre így jelentős plusz terhelés

⁷⁷ Ilyen példát ismertet a regensburgi dómból Schuller (2016, 474).

⁷⁸ Ilyen eszközt ábrázol többek között Viollet-le-Duc (1854-68, 58. ábra), Ungewitter (1901, 117.) és Fitchen (1961, 101, 40. ábra).

⁷⁹ Lassaulx 1831 (idézi: Fitchen 1961, 69.)

⁸⁰ Ungewitter 1901, 111.

⁸¹ Voigts 2014, 250, Voigts 2021, 80-81.

⁸² Roth 1905, 36., Fabini 1999., Harsányi 2001, 302.

⁸³ Szőke 2012, 207.

⁸⁴ Pliego 2012, 220.; Szőke 2012, 207-8.

hatna⁸⁵ – mivel a bordák csak bezáródásukkal válnak ön- és teherhordásra alkalmassá –, és a módszer nem jelent jelentős előnyt az építési folyamat szempontjából.

Ungewitter az építéstechnológia és az építőanyag összefüggését abban látta, hogy azokon a területeken, ahol apró köveket vagy téglát használtak a süvegfelület anyagának, a kézből falazott megoldások terjedtek el.⁸⁶ (Ilyen elkülönülésre utaló eredményt a dolgozatomban elemzett boltozatok vizsgálatai nem hoztak.)

A szakirodalomban olyan gondolatokat is találhatunk, hogy az, hogy ál-hálóboltozatot és a valódi hálóboltozatot⁸⁷ építettek nem az anyaghasználattól, hanem az épület jelentőségétől függött: Victor Roth szerint előbbiek a falusi templomok, míg utóbbiak a városi templomok esetén voltak jellemzőek⁸⁸ a dél-erdélyi területen. (A dolgozatomban elemzett minden dél-erdélyi példa – függetlenül a település típusától – valódi hálóboltozatnak bizonyult.)

2.2.6 A feldolgozott esettanulmányok szakirodalmáról

A kutatás során felhasznált szakirodalom külön csoportját képezi a feldolgozott esettanulmányok szakirodalma. Ez nagyobb részt az épületek építés- és kutatástörténetére vonatkozó műveket jelenti, kisebb részben pedig a vizsgált boltozatokra vonatkozó korábbi kutatások anyagait. Jelen kutatás szempontjából ezeknek a munkáknak azért volt különösen nagy jelentősége, mert az egyes boltozatok vizsgálata során az első megválaszolandó kérdést mindig az jelentette, hogy a boltozat építésekor milyen “helyszíni adottságokkal” kellett számolni: tehát hogy a boltozat korábbi periódusokból származó (nem a boltozattal egyszerre tervezett) falakra (alaprajzi kontúrra) épült, vagy egy egységes építészeti program eredményének tekinthető az adott épületrész. Az esettanulmányok építéstörténeti áttekintésének összegzésekor ennek, a dolgozat témája szempontjából kiemelt jelentőséggel bíró részletnek a megfogalmazása volt a cél. Az egyes feldolgozott emlékek részletes építés- és kutatástörténete bőséges anyagot jelenthetne egy önálló kutatáshoz is, így jelen dolgozatban e téma vázlatos, célirányos áttekintésére szorítkozhattam csupán.

⁸⁵ A fa anyagú építés közbeni segédszerkezetek sosem teljesen merevek. (Mainstone 1997, 319, 329.)

⁸⁶ Ungewitter 1901, 110.

⁸⁷ Az ál-hálóboltozat és valódi hálóboltozat jelen dolgozatban használt fogalmak definícióját ld. 3.1.3. fejezet.

⁸⁸ Roth 1905, 36.

Hely hiányában itt nem térek ki a feldolgozott szakirodalom részletes ismertetésére, az egyes esettanulmányokra vonatkozó forrásokat a Melléklet irodalomjegyzékében közlöm.

Az esettanulmányok szakirodalmának kiemelt csoportját jelentik azok a művek, melyek a 4.2. fejezetben ismertetett genealógiai összefüggések elméleti alapját jelentik. Ezeket a 4.2. fejezetben a megfelelő boltozatok kapcsán ismertetem.

2.2.7 A téma definíciói a szakirodalom alapján

A késő gótikus boltozatok témájának tanulmányozásához először az alapfogalmak tisztázása szükséges, hiszen a “hálóboltozat”, “csillagboltozat” és “csillagháló-boltozat” kifejezéseket a magyar és a külföldi szakirodalom sem egységes értelemben használja.

A szakirodalom “hálóboltozat” definíciói a boltozat bordahálója tekintetében általában azzal a kikötéssel élnek, hogy a bordarajzolat mintáját “nem lehet befejezni, csak abbahagyni”, tehát bárhol jelöljük ki a boltozati egység határát, mindig lesz olyan borda, mely a határvonalat metszi.⁸⁹ Egyes definíciók a “hálóboltozat” alapvető tulajdonságaként követelik meg, hogy a boltsüveg egyszer görbült felület, dongaboltozat legyen (így a bordaháló csak díszítő funkciót tölt be)⁹⁰, ám ilyen kívánalom a legtöbb esetben nem jelenik meg. Ungewitter a hálóboltozatokon belül taglalja a “dongajellegű” hálóboltozatokat, mely tulajdonságot a rombusz alakú vetülettel rendelkező mezőkből álló boltozatok esetében tartja jellemzőnek.⁹¹ Több munka kiemeli azt, hogy a bordaháló rajzolata hálóboltozat esetén is lehet csillagjellegű.⁹² Tehát a szakirodalom alapján a “hálóboltozatok” általában azok a boltozatok, melyek “donga jellegűek” (vagyis a boltozat általános alakja közelít egy dongaboltozat alakjához). Bordarajzolatuk tekintetében definíciótól függően kikötés lehet, hogy a rajzolat nem tagolható a boltozott tér travéit követő zárt egységekre, míg más definíciók ezt megengedik.

“Csillagboltozatok” esetén a szakirodalomban minden esetben megkövetelik a bordarajzolat alaprajzi vetületének csillag jellegét. A legtöbb meghatározás kiemeli, hogy a centralitás nem

⁸⁹ Császárs 1987-88a, 96-97.; Harsányi 2005, 12.; Szőke 2009b, 106.; Nussbaum-Lepsky 1999. idézi: Huth 2020, 21.

⁹⁰ Harsányi 2005, 12. – Ezt a típust jelen dolgozatban “ál-hálóboltozat” néven említem a továbbiakban, a dolgozat szóhasználatát és az alkalmazott definíciókat ld. később.

⁹¹ Ungewitter 1901, 36.

⁹² Császárs 1987-88a, 96-97.; Szőke 2009b, 106.

csak a bordarajzolat jellegében, hanem a felépítmény jellegében is megmutatkozik.⁹³ Ezeknek a szerkezeteknek az esetében egyes definíciók a boltsüvegek kétszer görbült kialakítását is említik.⁹⁴

A szakirodalomban megjelenő definíciók között érdekes elem a “csillagháló-boltozatok” fogalma. Egyes források ezeket a szerkezeteket nem különítik el a “hálóboltozatoktól” azon túl, hogy bordarajzolatuk csillag jelleget mutat. Más források azonban csillagboltozatokból vezetik le őket, azzal a különbséggel, hogy az egyes csillag-mezők között nincsenek elválasztó hevederek.⁹⁵ Guzsik Tamás olvasatában utóbbi megkötés azzal egészül ki, hogy az egyes “csillagboltozat” egységek között “hálóboltozat” vagy dongajellegű összekötő szakaszoknak is meg kell jelenniük: ilyen értelemben tehát a “csillagháló” boltozat valóban a csillagboltozat és a hálóboltozat egy szerkezeten belüli kombinálását jelenti.

Dolgozatomban azokat a boltozatokat értem a hálóboltozat kifejezés alatt, melyek elnyújtott alaprajzú, több boltozott egységből álló tereket fednek, és bordahálójuk egyszerű bordás keresztboltozatnál bonyolultabb rajzolatú – tehát nem kötöm ki, hogy a rajzolat nem lehet travénként tagolt. Szintén nem élek kikötéssel a süvegfelületek alakja tekintetében. A dolgozatomban használt, nagyon megengedő definíció azért indokolt, mert a szakirodalmi definíciók részben azokra az alapelvekre építenek, melyek kizárólagosságát kutatásom során nem fogadtam el. Ezzel összhangban a csillagháló-boltozatok kérdését a hálóboltozatok alkategóriájaként tárgyalom. A kutatás eredményeként a tág definíciót szűkebb kategóriákra osztottam a bordahálóra és a süvegfelületre vonatkozó tipológiai rendszerek segítségével (ld. 3. fejezet) Egyes szakirodalmi definíciók szorosabb megkötései miatt a teljes, dolgozatomban bevezetett tipológiának csak egyes részeit fedik le.

2.3 Kutatásmódszertani bevezetés

2.3.1 Épületfelmérési módszerek fejlődése

A 2.2.4. fejezetben már kitértem arra, hogy a doktori dolgozatom témáját jelentő boltozatokról íródott 18-20. században keletkezett alpművek ábráin megjelenő, és a gondolatmenet alapjául szolgáló boltozatok tökéletesen szabályos geometriával bírnak. Véleményem szerint ennek oka egyértelműen a kor felmérési lehetőségeiben keresendő, hiszen fej fölötti, nem sík szerkezetek

⁹³ Császár 1987-88a, 96.; Harsányi 2005, 10-11; Bürger 2007. idézi: Huth 2020, 21.

⁹⁴ Harsányi 2005, 10-11.

⁹⁵ Császár 1987-88a, 108.

esetén a kézi módszerek pontossága korlátozott. Ez a felmérés eredményének visszaszerkesztésekor óhatatlanul a szabálytalanságok kiküszöbölése felé mutató tendenciát fog eredményezni.⁹⁶

Fej fölötti szerkezetek esetében ez a probléma még a manuális módszerekkel készített alakhű felmérések (az épülettől függetlenül kitűzött koordinátarendszer alapján végzett felmérések) esetén is fennáll, ahogy arra Halmos Balázs a Lázói-kápolna boltozata esetében is rámutatott.⁹⁷

Fej fölötti szerkezetek geometriájának pontos, épülettől független koordinátarendszerben való meghatározására a manuális lézeres mérőállomások (laser total station) alkalmasak, ahogy azt Gonzalo és Talaverano⁹⁸ illetve Fuentes és Huerta⁹⁹ kutatásai is bizonyították. Ugyanakkor a módszer alkalmazhatósága pontos geometriai vizsgálatokra limitált, hiszen hiba a mérendő pontok manuális meghatározásakor a leggyondosabb célzás mellett is előfordulhat, illetve egy felületfolytonos szerkezet geometriájának korlátozott számú ponttal való rekonstruálása nem minden típusú vizsgálathoz ad alkalmas eredményt (ld. később).

Doktori kutatásom során az esettanulmányok geometriai vizsgálatát földi lézerszkenneléssel készített pontfelhők alapján vizsgáltam, mely módszert többek között Clemens Voigts¹⁰⁰ is alkalmazta hálóboltozatok esetében. E módszer másodpercenként több százezer pontot¹⁰¹, így egy sűrű pontfelhőt eredményez, az épülettől független koordinátarendszerben. Noha egy adott pont (pl. egy bizonyos sarok) pontos azonosítása e módszerrel körülményesebb, felületszerkezetek geometriai leírásához a módszer által generált pontfelhő különösen alkalmas: a boltozatok ábrázolásának szokásos léptékében a pontfelhő metszetei lényegében vonalként rajzolódnak ki, így a geometriai leírások elkészítéséhez nem szükséges felületeket illeszteni a pontfelhőre (mely, közelítő módszer lévén, a geometriát enyhén torzíthatja).

2.3.2 Boltozatvizsgálatok térszkenner alapú felméréssel – a pontosság kérdése

A doktori kutatásom során elkészített esettanulmányok felméréséhez Leica BLK360 földi lézerszkennert használtam, majd a felállások pontfelhőit Leica 360 Cyclon Register

⁹⁶ Id. 66. lábjegyzet

⁹⁷ Halmos 2007, 66.

⁹⁸ Gonzalo, Talaverano 2012.

⁹⁹ Fuentes, Huerta 2016, 591.

¹⁰⁰ Voigts 2014.; Voigts 2021.

¹⁰¹ <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360> (utolsó letöltés: 2025.01.15.)

programban dolgoztam fel. A használt szkener pontossága 8 mm-es tartományban mozog 20 m távolság esetén, így a vizsgált terek méreteit és a felállások számát figyelembe véve maximum 10-15 mm pontatlansággal számolhatunk a boltozatok előállított pontfelhői esetében. Figyelembe véve a középkori építéstechnika (falazott szerkezetek) esetében várható pontosságát, a pontfelhőket alkalmasnak ítélt az elvégzendő vizsgálatokhoz.

Az előállított pontfelhőkön felvett különféle metszeteket és vetületeket – a boltozatok geometriájában várható szabálytalanságokra való tekintettel – “manuálisan” vizsgáltam tovább AutoCAD és ArchiCAD programokban. A “manuális” mérésekben természetesen adódhatnak pontatlanságok, még a leggondosabb munka és többszöri ellenőrzés ellenére is. Ugyanakkor véleményem szerint ugyanez igaz volt az építési folyamatokra és azok eredményeire is, így az esetleges pontatlanságokat (mindkét esetben) kénytelenek vagyunk elfogadni.

Dolgozatomban a vizsgált boltozatszerkezetek eredeti szerkesztés- és építéstechnikáját a jelenleg mérhető, pontos geometriájukból próbálom kikövetkeztetni. Tehát azt veszem alapul, hogy az egykori építés közbeni segéd szerkezetek geometriája és az építésmód meghatározók a hálóboltozat geometriája szempontjából. Emiatt fontos kérdés a boltozatok pontos geometriai vizsgálata során az, hogy az építésük óta eltelt évszázadokban mekkora és milyen jellegű elmozdulásokat, deformációkat szenvedtek ezek a szerkezetek. E kérdés megítéléséhez – ugyanúgy, mint a geometria leírásakor és az abból levont következtetések esetében – minden épületet és minden boltozatot külön vizsgálni kell, nem adható egységes, minden esetben igaz válasz. Amennyiben a boltozatok a környező épületszerkezetek elmozdulásai következtében deformálódtak, a deformációt kiváltó elmozdulás nagy valószínűséggel a földi lézerszkenneléssel előállított pontfelhőben is észlelhető. Emiatt kutatásom során a boltozatok részletes geometriai vizsgálatának megkezdése előtt a teljes épület geometriájának áttekintése fontos lépést jelentett. Ha a boltozat más okból szenvedett utólagos deformációkat, az – a jelen dolgozatban is vizsgált – bordás boltozatok esetében különösen észlelhető lehet a bordaháló elemeinek deformációi alapján: kihullott, egymástól eltávolodott, esetleg összetorlódott bordák formájában. Természetesen – amennyiben észlelhető ilyen – a repedéskép is árulkodó lehet. E tekintetben szintén fontos adat az, hogy az adott épület fennállása során érte-e olyan hatás (földrengés, szélvihar stb.), mely váratlan terheket és alakváltozásokat okozhatott.

A boltozatok még akkor is alakváltoznak az építés után, ha nem érte őket olyan hatás, mely miatt drasztikus deformációkat szenvedtek: a habarcsok megkötésekor és az épület elkészültével a szerkezetek végső erőjátékának kialakulásakor, illetve akár az idő

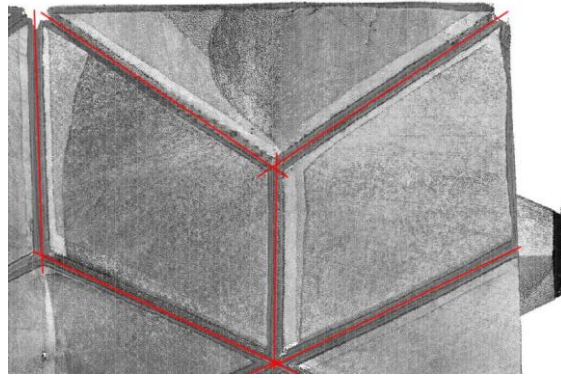
előrehaladtával az állandó terhek hatására is történhetnek alakváltozások. Ugyanakkor a doktori kutatásom során megvizsgált esettanulmányok, valamint más, hasonló módszereket alkalmazó kutatások eredményei alapján¹⁰² úgy tűnik, hogy ezek az alakváltozások nem olyan jelentős mértékűek, hogy a pontos geometriai leírás alapján készített szerkesztés- és építéstechnikai rekonstrukciókat számottevő mértékben, érdemben befolyásolják.

2.3.3 “Pontos geometriai leírás”

Dolgozatomban számos alkalommal használom a “pontos geometriai leírás” kifejezést, mint az első lépést a boltozatok pontfelhőjének értelmezésekor. Jelen dolgozatban ezt a kifejezést arra a folyamatra értem, mely során a boltozat pontfelhőjének egy adott vetületén a boltozat elemeinek (bordák, bordacsomópontok, boltsüvegek) pozícióját egzakt módon meghatározom a boltozatra illesztett fix koordinátarendszerben. Fontosnak tartom hangsúlyozni, hogy a pontos geometriai leírás semmilyen előzetes feltételezést nem tartalmaz, így pontosan rögzíti a boltozat állapotát a szkennelés elkészítésének pillanatában. Noha a pontfelhő maga is rögzíti ezt az állapotot, a geometriai leírás egy lépéssel tovább megy: már definiálja a boltozat elemeit az adathalmazon belül, így alapot jelent a szerkesztés- és építéstechnikát érintő következtetésekhez (ld. 3. és 4.1. fejezetek)

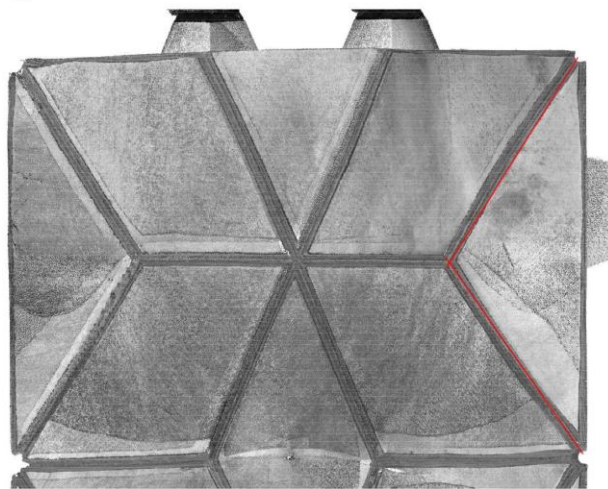
A geometriai leírás során a pontfelhő elemeinek definiálásakor bizonyos mértékű absztrakció történik: legegyszerűbb esetben ez annyit jelent, hogy a bordákat egy vonalként (alaprajzon a tengelyvonalukként, más vetületeken a bordaprofil alsó vagy felső síkjának középvonalaként), és a bordacsomópontokat a bordákat jelölő vonalak metszéspontjaiként értelmezzük. (2-1. ábra) Ám a gyakorlatban ezt a módszert túl általánosítónak találtam: falazott szerkezetektől nem várhatunk ilyen nagymértékű pontosságot: sok esetben egy adott borda bordaelemeinek tengelyvonalai, vagy az adott csomópontba befutó bordák tengelyvonalainak metszéspontjai nem esnek egybe matematikai pontossággal. (2-2. ábra) Ugyanez a probléma merül fel akkor is, amikor arra vagyunk kíváncsiak, hogy egy adott boltozat adott típusú csomópontjai adott vetületen egy egyenesre esnek-e: valódi szerkezetek esetén matematikai pontossággal biztosan nem áll elő ez a egyenes.

¹⁰² Többek között lsd: Huth 2020; Vidal 2017; Voigts 2015; Voigts 2021

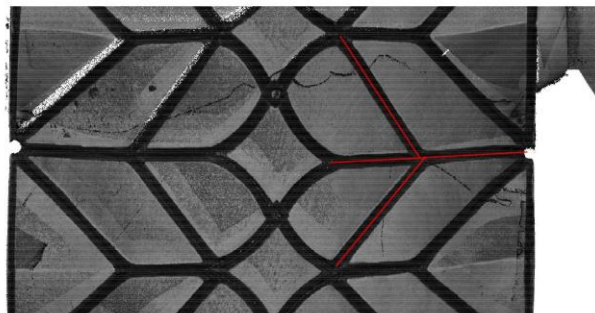


2-1. ábra Bordák és bordacsomópontok absztrakciója vonalakká és metszéspontokká

a.



b.



2-2. ábra Példák enyhén szabálytalan bordákra és csomópontokra. a. Alaprajzilag (nem szándékosan) görbült bordák. Szeged-Alsóváros, sekrestyeboltozat b. A bordatengelyek metszéspontja és a bordacsomópont középpontja eltér. Andocs, szentélyboltozat

Így felmerül a kérdés, hogy a geometriai leírások készítésekor mekkora eltérést engedek meg a teljesen pontos illeszkedésektől. Ezen a ponton a pontos geometriai leírásba bekerül egy hibahatár: a mellékletben közölt geometriai leírásokban ezt minden esetben kiemeltem és számértékkel megadtam. A tökéletesen pontos illeszkedéstől való eltérés értékének megjelölése mellett – mely által a geometriai leírás egzakt maradhatott – a geometriai

leírásokban az alaprajzi vetületen illeszkedésként fogadtam el akkora eltérést, mely az “ideális pozíciótól” maximum a borda alaprajzi szélességének felével tér el. A hibahatár ilyen megfogalmazásának az az oka, hogy a szerkezetek – ideértve az építés közbeni segédszerkezeteket is – térbeli kiterjedése az építők számára adott némi mozgásteret ahhoz, hogy az egyes szerkezeti elemeket úgy pozicionálják, hogy azok a kitűzés vagy a korábbi építési folyamatok során keletkezett pontatlanságokat felvegyék. (Például ha egy bordaelemet a borda tervezett tengelyvonalához képest pár fokkal elfordítva építenek be, kiküszöbölheti a borda és a kapcsolódó csomópont relatív pozíciójának hibáját, és az elfordulás az elemek csatlakozásánál beépített kötőanyagban felvehető.)

2.3.4 Görbületmérés

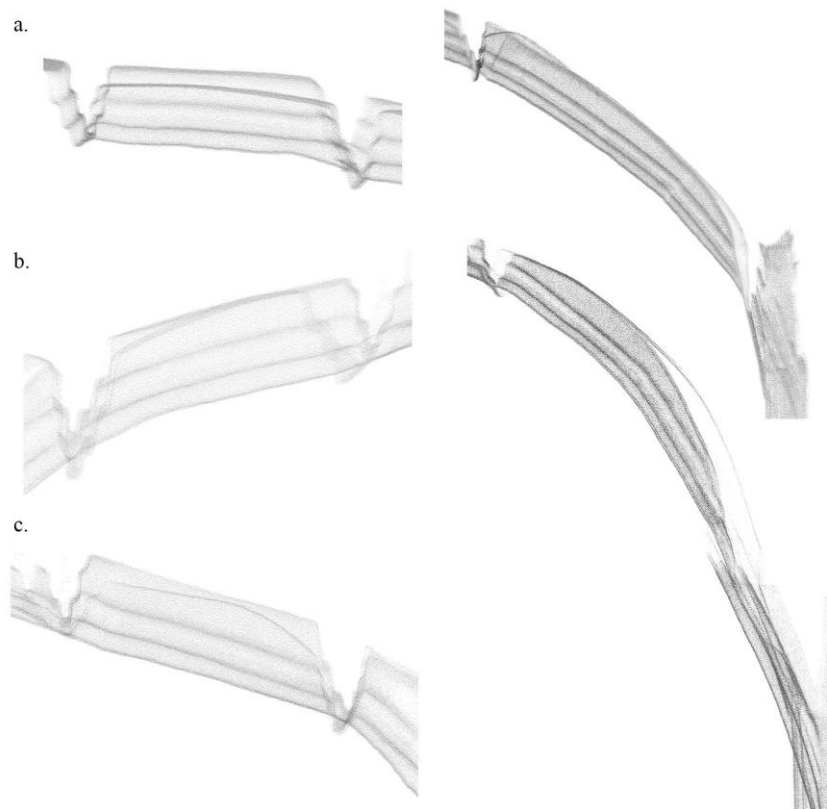
Mint a 2.2.3. alfejezetben kifejtettem, a hálóboltozatok témakörében a szakirodalom nagy jelentőséget tulajdonít a bordák¹⁰³ görbületi sugarának, így a görbületi sugár mérése a doktori kutatásom során is sarkalatos pontot jelentett. Az alapfeltevés természetesen az, hogy középkori módszerekkel körívek szerkeszthetők szabályosan, ugyanakkor (mint jelen kutatás eredményei is megmutatták¹⁰⁴, többek között a Lázói-kápolna boltozata [Melléklet 9.4.2.] vagy a medgyesi hajóboltozat [Melléklet 3.2.3.2.] esetében) egy adott borda nem feltétlenül illeszkedik teljes hosszában egyetlen körívre. Utóbbi miatt a pontfelhőből a megfelelő vetület előállítás után a borda képéhez köríve(ke)t illesztettem, és közvetlenül azoknak a görbületi sugarát mértem, ahelyett, hogy a görbületi sugarat a borda hosszából és ívmagasságából számítottam (vagy szerkesztettem) volna.

A görbületmérés eredményeinek elemzésekor figyelembe kell venni, hogy a mérés nagyon érzékeny a pontosságra: a bordák illetve bordaelemek léptékében a mért ív minimális módosítása is jelentős változást idéz elő a görbületi sugár számértékében. (Ezt egy egyszerű számpéldán szemléltetve: egy 2,4 m hosszú szakaszhoz tartozó 5 cm ívmagasságú körszegmens görbületi sugara 14,425 m, ám az ívmagasságot 1 cm-el növelve a görbületi sugár 12,03 méterre módosul.) Ennek a pusztán matematikai megfontolásnak a létjogosultsága a valós szerkezetek esetében ott jelenik meg, hogy sok esetben a bordák (vagy bordaelemek) alsó síkja nem ad tökéletesen egyenletes ívet – vagy a borda felületének sérülései, vagy a megmunkálás egyenetlenségei miatt. (2-3. ábra) Tehát a mérés során a “borda ívét” megtalálni

¹⁰³ Dolgozatomban “borda” alatt a bordaháló csomóponttól csomópontig tartó részeit értem. A bordákat alkotó egyes építőelemekre “bordaelemként” utalok.

¹⁰⁴ Jobbik – Halmos

nem magától értetődő feladat. Tapasztalataim alapján a mérés hibáinak kiküszöbölésére alkalmazható legegyszerűbb módszer az, ha egy körívet három pontjánál fogva illesztünk, és ezt az illesztést többször, különböző pontokkal végezzük el. Az így kapott ívek görbületi sugarai közül a kiugróan eltérő értékek mérési hibaként elvethetők, a többi érték átlagolható, mely átlag az építéstechnika feltételezhető pontosságának léptékében elfogadható a borda görbületi sugaraként. (Ugyanezek a megfontolások jelentik az okát annak is, hogy rövid szakaszon – adott esetben egyetlen bordaelemen vagy csomóponti elem bordacsomkjain – mért görbületi sugár csak erős fenntartásokkal fogadható el biztos adatnak: a mérés eredménye nagyon érzékeny a bordaelemre fektetett elméleti ívre, így az, hogy valóban az eredetileg az elemet tartalmazó borda görbülete-e az eredmény, erősen kérdéses – még akkor is, ha feltételezzük, hogy az egész borda geometriáját egyetlen görbületi sugár határozta meg, mely, mint említettem, nem minden esetben igaz.) Esettanulmányaim elemzése során e fenntartások figyelembevételével mellett is arra jutottam, hogy egyes esetekben valóban kimutatható a bordagörbületek azonossága (vagy a teljes bordarendszer, vagy a bordarendszer egyes bordacsoportjai tekintetében – ld. később), így úgy gondolom, hogy azokban az esetekben, amikor az egyezést a mérési adatok alapján nem sikerült kimutatni, az azonos görbületi sugarak léte valóban kérdésesnek tekinthető.



2-3. ábra Példák nem egyenletesen ívelt alsó bordafelületekre. Siklós, várkápolna, szentélyboltozat

3 Geometriai és szerkezeti összefüggések I. – Tipológiák [1. és 2. tézisek]

3.1 Hálóboltozatok bordahálóinak és süvegfelületeinek kapcsolata, a süvegfelület globális geometriája

A téma tárgyalásához alfejezetenként terminusokat vezetek be és definiálok, melyeket a dolgozatban és annak mellékletében következetesen használok. Ez azért szükséges, mert a szakirodalomban nincs konszenzus az egyes fogalmak pontos jelentése tekintetében, illetve egyes dolgozatomban tárgyalt jelenségeket a szakirodalomban korábban nem írtak le.

3.1.1 Bordarajzolat

A hálóboltozatok süvegfelületeinek geometriáját vizsgálva nem elhanyagolható kérdés a bordaháló rajzolata, mely alatt a bordaháló alaprajzi képét értem. A szakirodalomban is többször tárgyalt kérdésről van szó¹⁰⁵, mely sok esetben a boltozat geometriájának más jellemzőivel, mint a süvegfelület formálása vagy az építéstechnika is kapcsolatba kerül.

Dolgozatomban a szakirodalom alapján a “háló jellegű” és a “csillag jellegű” rajzollal rendelkező hálóboltozatokat különböztettem meg. Utóbbi alatt azokat a hálóboltozatokat értem, melyek bordarajzolatában olyan csillagszerű egységek jelennek meg, melyek középpontja a záradékvonalra esik, és amelyek kiterjedése egy-egy szomszédos boltváll-pár között határozható meg. Így “háló jellegű rajzolatúnak” tekintem azokat a hálóboltozatokat, melyek nem felelnek meg a fenti leírásnak. A szakirodalomban “sűrűbordás” hálóboltozatként meghatározott rajzolatok¹⁰⁶ szintén ebbe a kategóriába esnek.

Az alábbi táblázatban foglaltam össze a dolgozatomban feldolgozott esetek bordarajzolat alapján készített besorolását:

“Háló jellegű” rajzolat (*: sűrűbordás)	“Csillag jellegű” rajzolat
Szászbogács, hajó	Szeged, szentély
Andocs, szentély	Szeged, sekrestye
Segesvár, északi mellékhajó	Medgyes, sekrestye
Segesvár, déli mellékhajó	Gyulafehérvár, Lázói-kápolna

¹⁰⁵ Többek között ld. Császár 1987-88b; Szőke 2012

¹⁰⁶ Császár 1987-88a, 156.; Szőke 2005, 887.

Segesvár, főhajó	Siklós, várkapolna
Nyírbátor*	
Szeged, hajó*	
Medgyes, főhajó	
Medgyes, szentély	

3.1.2 Szintvonalas ábrázolás

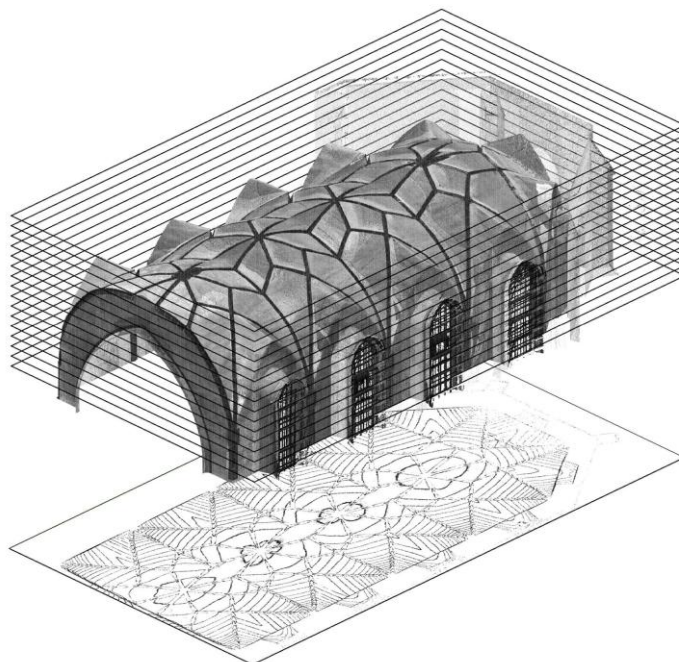
Az, hogy a boltozatok boltsüvegének és bordahálójának kapcsolatát szintvonalas ábrázolásuk segítségével érzékeltessük nem új gondolat. Az első ilyen ábrázolás Auguste Choisytól származik¹⁰⁷, majd 1955-ben Rave is alkalmazta a megoldást¹⁰⁸. Természetesen ezekben az esetekben a szintvonalak a kutatók által feltételezett szerkezeti megoldásokhoz idomuló formát vettek fel. A térszkenneres felmérés lehetővé teszi azt, hogy ezt az ábrázolásmódot a valós geometriából levezetve alkalmazzuk. A szintvonalak így már nem a kutató által feltételezett szerkezeti kialakítást, hanem a valós geometria leképeződését jelentik, és a geometria – akár szabad szemmel nem, vagy alig érzékelhető – szabálytalanságai is megjelennek az ábrán, melyből a szerkezeti kialakításra, szerkesztés- és építéstechnikai megoldásokra következtethetünk, azokról elméleti rekonstrukciót készíthetünk. (Ezt használta ki például Clemens Voigts¹⁰⁹ is több tanulmányában.)

A szintvonalas ábrázolás (hálóboltozatok esetében is) azt jelenti, hogy a vizsgálandó szerkezetet vízszintes síkokkal függőleges értelemben adott távolságonként “felszeleteljük”, és a kapott metszeteket az alaprajzi síkba vetítjük. (3-1. ábra) A gyakorlatban ezt a boltozat alsó síkjának geometriájával érdemes megtenni, hiszen általában a még álló szerkezetek esetében a bolthát jelentős részén feltöltés található, mely miatt a felülről mérhető geometriai adatok nagyrésze irreleváns a vizsgált kérdések kapcsán.

¹⁰⁷ Choisy 1883, 54, fig.60, idézi Javier 2012, 201

¹⁰⁸ Idézi Wendland 2007, 345 és Voigts 2014, 247; Voigts 2021, 81

¹⁰⁹ Voigts 2014, 248



3-1. ábra Szintvonalas ábrázolás készítésének elve a szeged-alsóvárosi szentélyboltozat példáján szemléltetve

Kutatásom során a szintvonalas ábrázolásokat közvetlenül a pontfelhőből készítettem el, anélkül, hogy a felhőt behálózva arra felületeket illesztettem volna. A pontfelhők, melyekkel dolgoztam kellően sűrűek ahhoz, hogy a metszetek vastagságát 5 mm körüli értéknek választva kellő mennyiségű pont essék bele a metszetbe ahhoz, hogy a vizsgálatok által megkívánt részletességnek megfelelő lépték esetén a pontok halmaza vonalakként értelmezhető legyen. Ennélfogva a továbbiakban e pontthalmazokra “metszetvonalakként” fogok utalni.

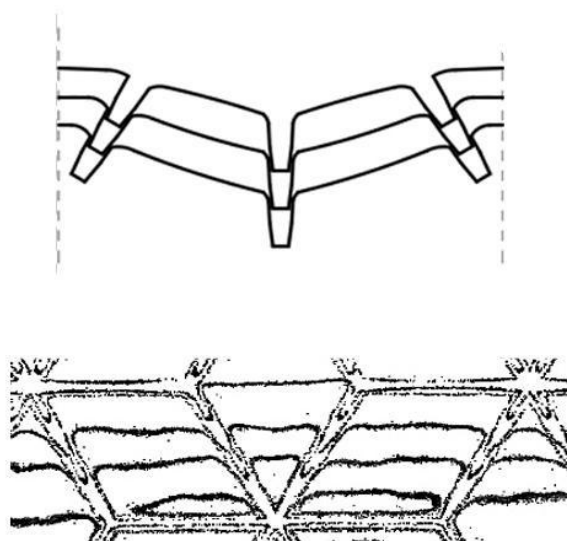
3.1.3 “Ál-hálóboltozatok” és “valódi hálóboltozatok”

Ahogy a 2.2.5. alfejezetben kitértem rá, a hálóboltozatok bordahálójának és süvegfelületének kapcsolata tekintetében a szakirodalmi források szerint elsődlegesen “valódi hálóboltozatokról” és “ál-hálóboltozatokról” beszélhetünk.

“Valódi hálóboltozatok” alatt azokat a hálóboltozatokat értem, melyek bordahálója a süvegfelület előtt készült el, és annak benmaradó zsaluzataként szolgált az építés során. Azon hálóboltozatok esetén, melyek ezzel a technikával készültek, a szintvonalas ábrázolásuktól azt várhatjuk, hogy a süvegfelület metszetvonalainak alakja nem független a bordák pozíciójától. A süveg-metszetek a bordák közvetlen környezetében a bordák felé görbülnek.¹¹⁰ (3-2. ábra) Az összes, jelen dolgozatban megvizsgált esettanulmány ebbe a csoportba sorolható, mely

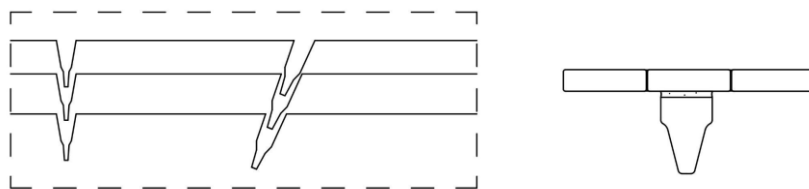
¹¹⁰ A borda és süveg kapcsolódási helyének lokális geometriáját álló szerkezetek esetében befolyásolhatja a vakolatréteg. Ezért ezt a kapcsolódási pontot nem önmagában, hanem az adott süveg teljes metszetével összefüggésben lehet érdemben megítélni (ld. később).

egyes esetekben ellentmond a szakirodalomban megjelenő véleményekkel (ld. még 3.2 alfejezet; Melléklet 5.2.3.3.).¹¹¹



3-2. ábra Valódi hálóboltozatok szintvonalas képe. Elvi ábra és valós példa (Szeged-Alsóváros, hajóboltozat felső zónája)

Az “ál-hálóboltozatok” kérdésének tárgyalását a szakirodalomban megjelenő elmélet tette indokolttá, mely szerint egyes esetekben a hálóboltozat süvegfelülete szerkezetiileg dongaboltozat, mely alá az építkezés második lépésében díszítő funkciójú bordahálót illesztnek (ld. még: 2.2.5. alfejezet).¹¹² A szintvonalas ábrázolás tekintetében ez a technika azt jelentené, hogy a süvegfelület metszetsvonalai egyenesek, a boltozat hossz tengelyével párhuzamosak és alakjuk a bordák pozíciójától teljesen független. (3-3. ábra) A megvizsgált esettanulmányok között nem találtam példát ennek az építéstechnikának az alkalmazására.



3-3. ábra Ál-hálóboltozatok elvi szintvonalas képe és borda-süveg kapcsolat kialakítása

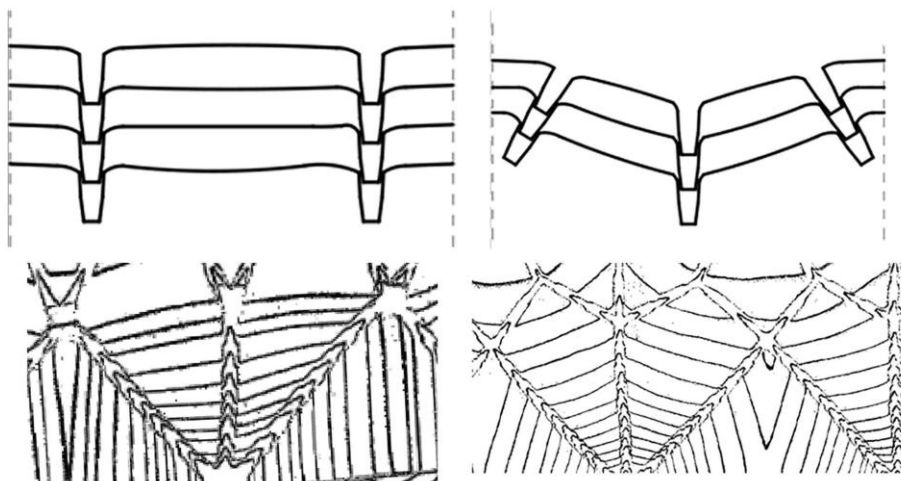
¹¹¹ Ilyen példa a 3.2. alfejezetben részletesen ismertetett szeged-alsóvárosi hajóboltozat, melyet Harsányi István (Harsányi 2001; Harsányi 2005) dongaboltozatként határozott meg. Roth (1905, 36.) elmélete szerint a jelentéktlenebb dél-erdélyi templomok esetében is elterjedt megoldás volt az ál-hálóboltozatok építése, mely kategóriába a szászboágácsi erődtemplom hajóboltozatát is besorolhatjuk, noha boltozata valójában nem ál-hálóboltozat (ld. Melléklet 1.).

¹¹² Roth 1905, 36., Fabini 1999., Harsányi 2001, 302.

3.1.4 Valódi hálóboltozatok süvegfelületeinek építéstechnikája

Ahogy a 2.2.5. alfejezetben kitértem rá, a szakirodalmi források alapján valódi hálóboltozatok süvegfelületeit két fő módszer alapján építették a már álló bordahálóra: vagy teljes felületű alázszaluzással, mely lapos – esetenként behorpadt – süvegeket eredményezett, vagy teljes felületű alázszaluzás nélkül, kézből falazva, mely domborúbb süvegeket jelentett.¹¹³ E módszerek szintvonalas ábrázolás alapján történő azonosítása nem újdonság.¹¹⁴ Ugyanakkor a kérdéskör integrálása a hálóboltozatok teljeskörű geometriai vizsgálatába, mint a centralizáló vagy lineáris globális jelleggel, és így a bordaháló globális geometriájával való összefüggésben való tárgyalása (ld. 3.1.5. alfejezet) e dolgozat eredményei között szerepel, így a téma áttekintése és részletes geometriai magyarázatokkal való kiegészítése szükséges és indokolt.

Teljes felületű zsaluzatra épült, lapos süvegek esetében a szintvonalas ábrázoláson is közel egyenes, esetleg konkáv metszetszonalakat várhatunk általános, bordák közötti helyen. (Mivel valódi hálóboltozatokról beszélünk, a bordák környezetében a süvegek metszetszonalai a bordák felé irányulnak.) (3-4. ábra)



3-4. ábra Valódi hálóboltozatok teljes felületű zsaluzattal épült süvegekkel. Elvi ábrák és valós példák. Bal: lineáris globális jelleg esetén (Medgyes, szentélyboltozat). Jobb: centralizáló globális jelleg esetén (Szeged-Alsóváros, szentélyboltozat)

Kézből falazott, domború süvegekkel épült valódi hálóboltozatok esetében a bordák között, általános helyen azt várhatjuk, hogy a süvegek metszetszonalai konvex görbülettel bírnak.¹¹⁵

¹¹³ Wendland 2007, 314., 342.; Voigts 2021, 78-79.

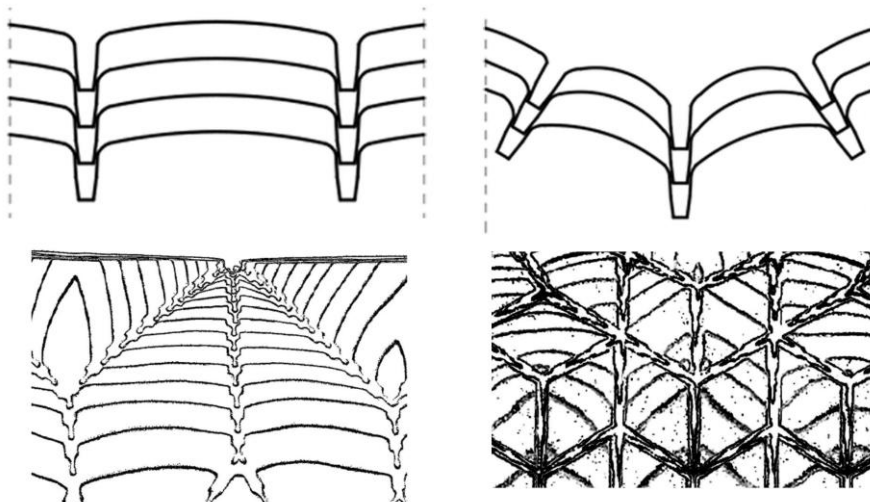
¹¹⁴ Voigts 2014; Voigts 2021

¹¹⁵ Ki kell térnem arra is, hogy a szintvonalas ábrázolás módszerének 3.3.2. fejezetben leírt alkalmazása esetén természetesen a süvegek vízszintessel bezárt szöge változik, hiszen a boltozat vállhoz közelebb eső részein a

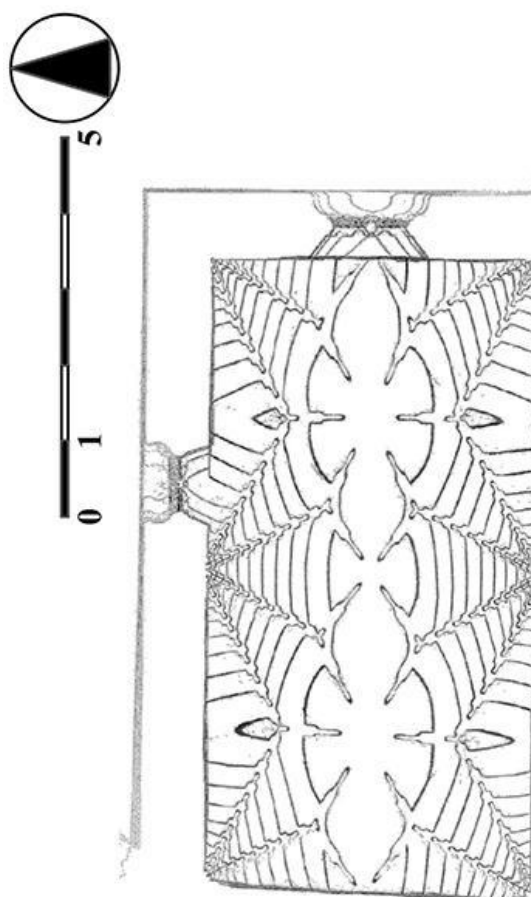
(3-5. ábra) Ugyanakkor a görbület mértéke, illetve annak egzakt meghatározása, hogy mekkora görbület esetén fogadunk el egy boltozatot kézből falazottnak, és mikor beszélünk “közel egyenes” süveg-metszetről, tehát alázsaluzott módon épített süvegről, további magyarázatot kíván. Kézből falazott süvegek esetében, mint a 2.2.5. alfejezetben is kitértem rá, minden téglasornak önálló, önálló boltövként kell működnie. Ám az, hogy ehhez mekkora görbület szükséges attól is függ, hogy az adott boltöv a süvegen belül milyen pozícióban helyezkedik el: minél közelebb van a boltvállhoz, annál meredekebb a teljes boltozat általános lejtése. Ez azt is jelenti, hogy a meredekebb részekben a boltöv önsúlyának nagyobb része tud az alatta lévő téglasorokra átadódni, míg a záradékhoz közelebbi részekben a süvegek pozíciója is közeledik a vízszinteshez, mely a süvegeket alkotó boltövek jelentősebb görbületét követeli meg. Az önfordáshoz szükséges görbület mértéke szempontjából jelentős másik faktor az adott süvegegység fesztávja: kisebb fesztáv esetén kisebb görbület is elegendő lehet. Így például a medgyesi erődtemplom sekrestyéjének boltozata (3-6. ábra; Melléklet 3.4.2.), mely süvegei kis fesztávokkal bírnak és a boltozat aránylag nagy magasságig jelentős meredekségű, a kevésbé prominens görbületű süvegek ellenére is készülhetett kézből rakva.¹¹⁶

süvegek meredekebbek (közelebb vannak a függőleges irányhoz), mint a boltozat záradékhoz közelebbi részein. Ez azt jelenti, hogy a függőlegeshez közelebb lévő süvegeket – melyek esetében még a kézből falazott technika esetén is kisebb görbületek várhatók – olyan síkkal metszem, mely a süveggel a derékszöghöz közelebb álló szöget zár be, míg a vízszinteshez közelebb álló süvegeket – melyek kézből falazott technika esetén várhatóan nagyobb görbülettel rendelkeznek – e görbülethez képest laposabb szögben metszem. Tehát a különböző pozícióban lévő süvegeket az egyes süveghez képest más-más irányú metszetek alapján ítélem meg. Ám az ebből eredő eltérés a potenciálisan a nagyobb abszolút görbülettel rendelkező süvegek kimetszett görbületei esetén az abszolút görbülethez képest kisebb görbület ábrázolásához vezet. Amennyiben így is olyan mértékű görbületet állapítok meg, mely alapján a süveget kézből falazottnak tételezem fel, a “biztonság javára” tévedtem. Ha a boltozat záradékhoz közelebbi részének metszetrövidítései egyenesnek (vagy konkávnak) adódnak, a kézből falazott technika nem valószínű. Ha a záradékhoz közeli süvegek görbületének mértéke alapján kérdéses, mely technika valószínűbb, a süvegek más irányú síkokkal való metszése alapján az eredmények pontosíthatók. A megvizsgált esettanulmányaim között nem volt olyan eset, ahol a szintvonalas ábrázolás és egyéb megfontolások, mint a boltozat meredeksége, alapján kérdésesnek tartottam volna az építés módját.

¹¹⁶ Jobbik 2024



3-5. ábra Valódi hálóboltozatok kézből falazott süvegekkel. Elvi ábrák és valós példák. Bal: lineáris globális jelleg esetén (Szászbogács, hajóboltozat). Jobb: centralizáló globális jelleg esetén (Nyírbátor, boltozat)



3-6. ábra A medgyesi erődtemplom sekrestyeboltozatának szintvonalas képe

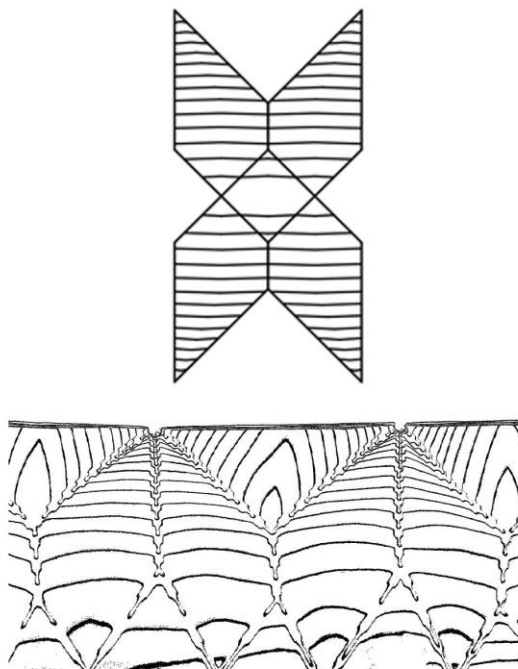
A megvizsgált esettanulmányokat a süvegfelületük feltételezhető építéstechnikája szerint besorolva az alábbi táblázatban foglaltam össze.

Valódi hálóboltozat teljes felületű alázsaluzással épített süvegekkel	Valódi hálóboltozat teljes felületű alázsaluzás nélkül épített süvegekkel	Valódi hálóboltozat részben teljes felületű alázsaluzással, részben anélkül épített süvegekkel
Szeged, hajó ¹¹⁷	Szászbogács, hajó	Andocs, szentély
Szeged, szentély	Nyírbátor	Segesvár, északi mellékhajó
Szeged, sekrestye	Medgyes, sekrestye	Segesvár, déli mellékhajó
Medgyes, főhajó	Gyulafehérvár, Lázói-kápolna	Segesvár, főhajó
Medgyes, szentély		
Siklós, várkápolna		

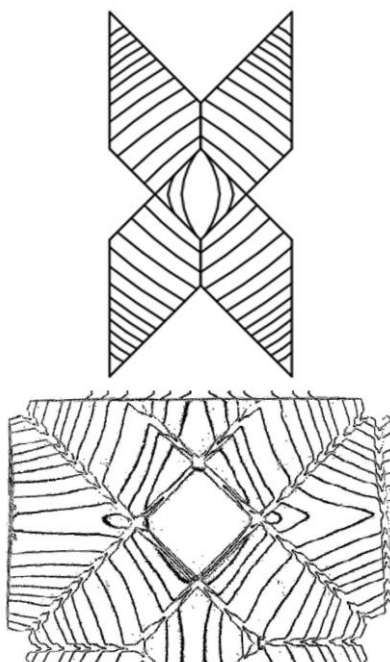
3.1.5 A boltsüvegek globális jellege – “Lineáris” és “centralizáló” hálóboltozatok

Annak megítélésére, hogy egy boltozat “ál-hálóboltozatként” vagy “valódi hálóboltozatként”, illetve hogy utóbbi esetében teljes felületű alázsaluzással vagy kézből falazva épült-e a süvegfelületek metszetsvonalainak egy-egy boltmezőn belülré eső jellegét és alakját elemeztem, a korábban idézett szakirodalmi forrásokkal összhangban. A kutatásom során bevezetett “lineáris” és “centralizáló” hálóboltozat jelleg (a boltsüvegek globális jellege) megítéléséhez ezzel szemben a süvegfelület metszetsvonalainak általános irányát vizsgáltam. Azokat a boltozatokat tekintem “lineáris” hálóboltozatoknak, melyek esetén a süvegfelületek metszetsvonalainak általános iránya (a süvegek metszetsvonalainak és a bordák alaprajzi képének metszéspontjait összekötő vonal) a boltozat hossz tengelyével (közel) párhuzamos. (3-7. ábra) “Centralizáló” hálóboltozatoknak nevezem azokat a hálóboltozatokat, melyek esetén a süvegek metszetsvonalainak és a bordák alaprajzi képének metszéspontjait összekötő vonal olyan törtvonal, mely az egyes travékhoz tartozó boltozati egységek tekintetében a boltmező közepe mint középpont körül centrális jelleggel rendeződik. (3-8. ábra) A boltsüvegek globális jellege tehát visszavezethető a boltozati bordák relatív térbeli pozíciójára. Fontos kiemelni, hogy mind a lineáris, mind a centralizáló jelleg előállhat akár alázsaluzott technikával épített, akár kézből falazott süvegek esetén.

¹¹⁷ A boltozatnak vannak “dongaszerűen” épített szakaszai, de a bordaháló építése megelőzte a süvegfelület építését, és a záradékhoz közelebb eső boltmezőkben teljes felületű zsaluzatot alkalmazó építéstechnika valószínű. (ld. 3.2. alfejezet, Melléklet 5.2.2.)



3-7. ábra Valódi hálóboltozatok szintvonalas ábrája lineáris globális jellegű süvegfelület esetén. Elvi ábra és valós példa (Szászbogács, hajóboltozat)



3-8. ábra Valódi hálóboltozatok szintvonalas ábrája centralizáló globális jellegű süvegfelület esetén. Elvi ábra és valós példa (Medgyes, hajóboltozat legkeletibb travéja)

Esettanulmányaim vizsgálata során a boltsüvegek globális jellege tekintetében két fontos megállapítást tettem. Először is, valódi példával (Medgyes, erődtemplom, főhajó boltozata; 3.2.2. Melléklet) is alátámasztottam, hogy a “lineáris” jelleg független a bordaháló

rajzolatától¹¹⁸, ellentétben a szakirodalomban megjelenő elmélettel, miszerint a cilindrikus jellegű a “háló jellegű” rajzolathoz, míg a szférikus jellegű a “csillag jellegű” rajzolathoz társítják. (Ugyan “csillag jellegű” rajzolatot tisztán lineáris jelleggel társító példa nem szerepel a jelen dolgozat keretein belül megvizsgált esetek között, annak geometriai vagy tartószerkezeti akadálya nincs, így elvi lehetőségként fenn kell tartanunk. Ezen kívül a szeged-alsóvárosi hajóboltozat, noha alapvetően sűrűbordás hálóboltozat, a záradéka mentén csillagegységeknek is felfogható bordarajzollal rendelkezik, melyhez lineáris jelleg társul.)

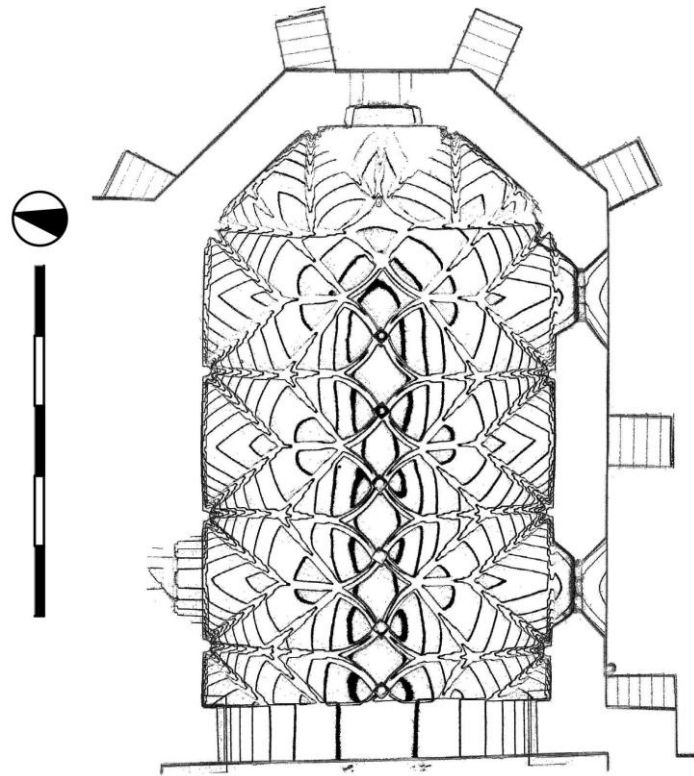
Másodszor pedig arra jutottam, hogy a lineáris vagy centralizáló jelleg egy adott boltozaton belül egymással tervezetten kombinálva is megjelenhet, mind magassági, mind hosszanti értelemben vett váltással. Az andocsi szentélyboltozat¹¹⁹ (Melléklet 7.3.; 3-9. ábra) és a segesvári Hegyi-templom hajóboltozatai¹²⁰ (Melléklet 2.2.2.; 2.3.2.; 2.4.2.; 3-10. ábra) esetén a boltozat vállakhoz közelebbi, alsó részén, ahol a boltsüveg közelebb van a függőlegeshez, centralizáló jellegű süvegfelület készült (valószínűleg kézből falazott építéstechnikával). Ám a boltsüveg záradékhöz közelebbi, vízszinteshez közelítő szakaszán lineáris jellegű (valószínűleg alázsaluzott technikával készült) süvegek jelennek meg. A két eltérő jellegű rész közötti határvonal mindegyik esetben egy-egy jól definiált bordasorként is megjelenik. Úgy gondolom, ennek a jelenségnek építéstechnikai okai lehetnek: ott, ahol a boltsüveg közelebb van a függőlegeshez, egyszerűbb és gyorsabb kézből rakott süvegeket készíteni, melyek a bordaháló geometriájától függően lehetnek centralizáló vagy lineáris jellegűek. Az idézett esetekben ez a jelleg centralizálónak adódott, mivel a bordaháló geometriája és így a boltozat szakaszolása követi a boltvállak ritmusát. Ott, ahol a boltsüveg közelebb kerül a vízszinteshez, technológiai váltás következik be: a kézből falazott megoldás helyett valószínűleg gyorsabb, vagy kevesebb szaktudást igénylő feladat volt teljes felületű zsaluzatot építeni. Noha ezt a technikát is lehetett centralizáló jelleggel alkalmazni, ahogy azt a szeged-alsóváros sekrestye és szentély példái (Melléklet 5.3.2.; 5.4.2.; 3-11. ábra) is bizonyítják¹²¹, Andocs és Segesvár esetén a bordaháló geometriájából a lineáris jelleg kialakulása adódott.

¹¹⁸ Jobbik 2024; Jobbik – Krähling 2024c

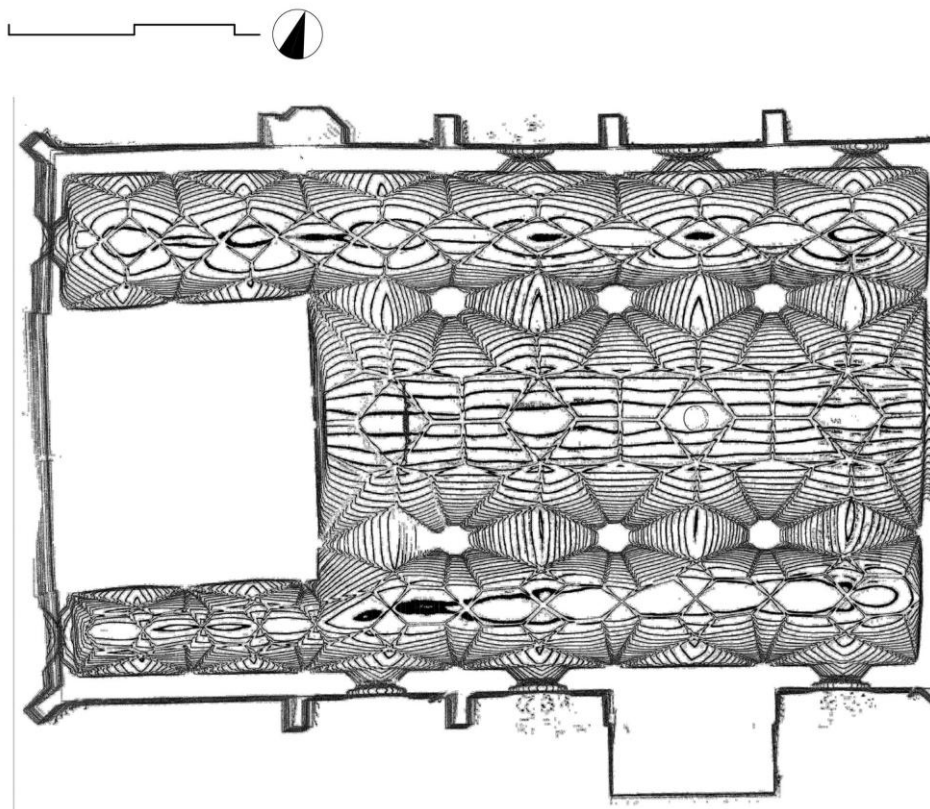
¹¹⁹ Jobbik – Daragó; Jobbik – Krähling 2022b

¹²⁰ Jobbik – Krähling 2023b; Jobbik – Krähling 2024b; Jobbik – Krähling 2024c

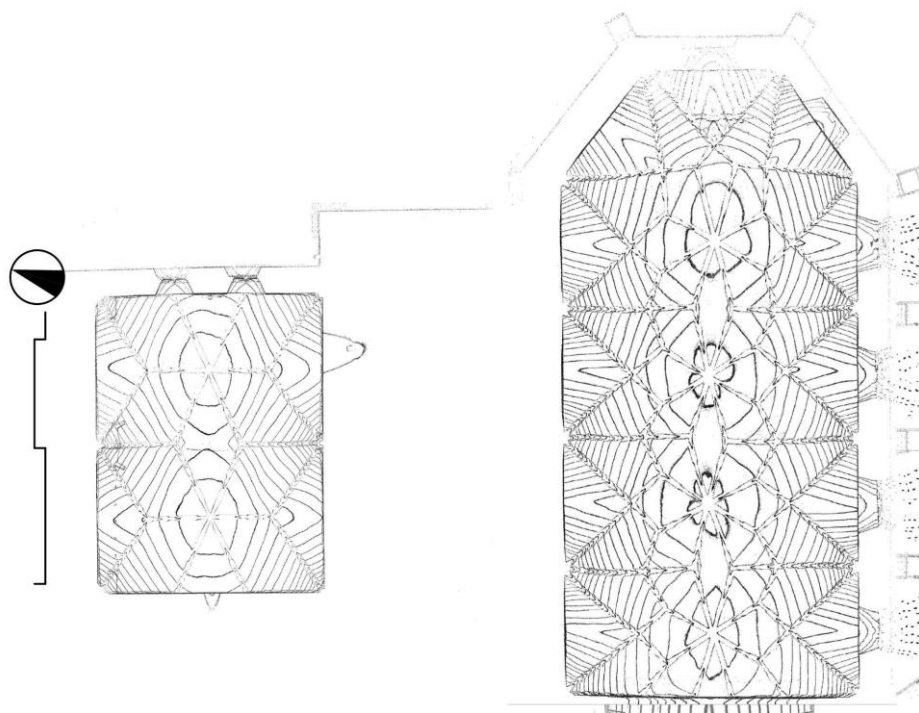
¹²¹ Jobbik – Budaházi 2024; Jobbik – Krähling 2024c



3-9. ábra Az andocsi templom szentélyboltozatának szintvonalas képe



3-10. ábra A segesvári Hegyi-templom hajóboltozatának szintvonalas képe

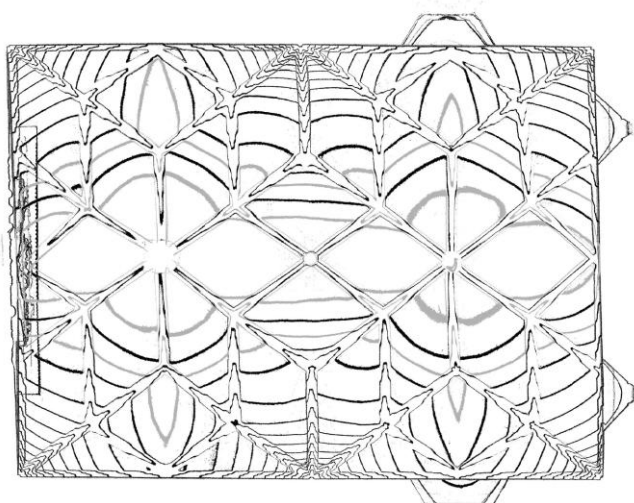
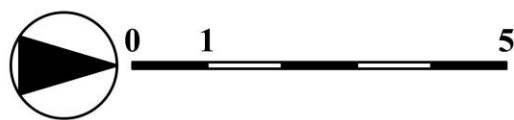


3-11. ábra A szeged-alsóvárosi templom sekrestye- és szentélyboltozatának szintvonalas képe

A lineáris és centralizáló jelleget hosszanti eloszlásban kombináló boltozatok közül a gyulafehérvári Lázói-kápolna¹²² (Melléklet 9.3.; 3-12. ábra) és a medgyesi erődtemplom sekrestyéjének boltozata¹²³ (Melléklet 3.4.2.; 3-6. ábra) azt sugallják, hogy ez a váltás tervezett volt: a centralizáló jellegű, csillag rajzolatú egységek között jelennek meg lineáris jellegű összekötő szakaszok. Ez lényegében a 2.2.7. alfejezetben ismertetett, Guzsik-féle csillagháló-boltozat definíciónak felel meg.

¹²² Jobbik – Halmos

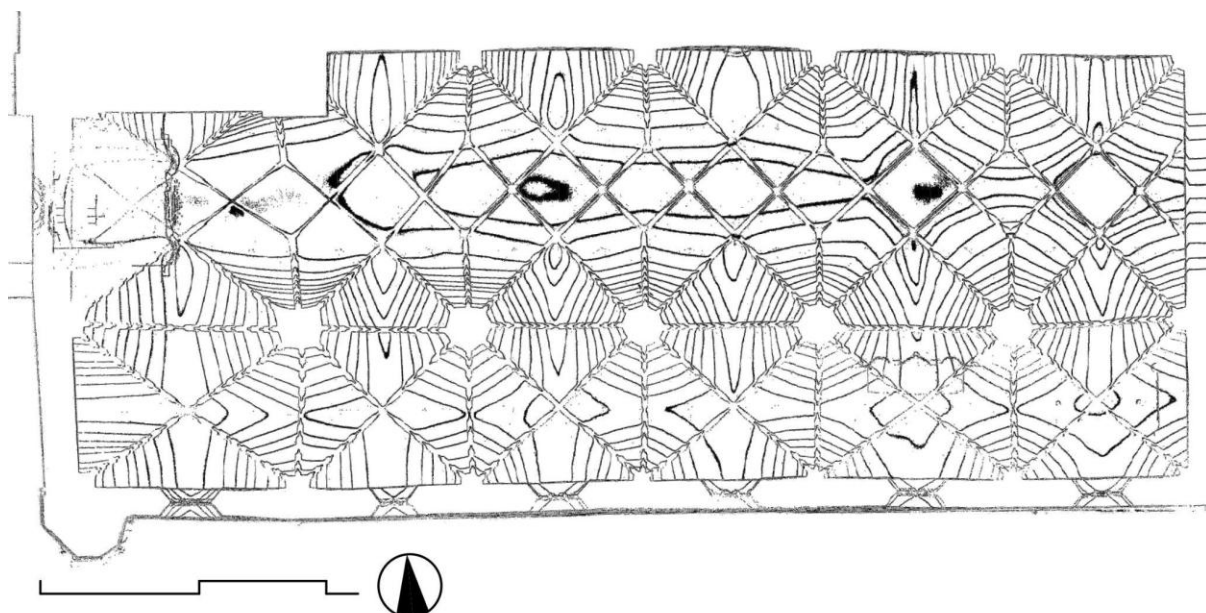
¹²³ Jobbik 2024; Jobbik – Halmos



3-12. ábra A gyulafehérvári Lázói kápolna boltozatának szintvonalas képe

A két globális süveg jellegnek a boltozat hossza mentén történő váltásának szokatlan példáját jelenti a medgyesi erődtemplom főhajóboltozata. (Melléklet 3.2.2.; 3-13. ábra) Ebben az esetben a háló jellegű rajzolatához – mely a hajó teljes hosszában változatlan alapelv mentén, és a keleti négy travé esetén változatlan szerkesztési elv szerint kialakítva jelentkezik – a legkeletibb travé és a vele szomszédos boltozati egység nagy része esetén centralizáló, míg a nyugatibb travékban (kissé rendezetlen) lineáris jellegű süvegfelületek társulnak.¹²⁴ Itt a két technika váltásának magyarázata nem adódik egyértelműen. Ahogy arra a mellékletben, a bordaháló szerkesztésének geometriai leírásában (Melléklet 3.2.3.1.) kitértem, egyes bordacsomópont-típusok magassága következetesen azonos a keleti négy travében, míg mások különböznek a legkeletibb és a többi travé esetén. Ez a különbség okozhatott akkora eltérést a bordák relatív térbeli pozíciójában, mely megkövetelte a süvegek globális geometriájának váltását, ám az eltérések okára nem adódik kézenfekvő magyarázat. Elképzelhetőnek tartom az építőműhely vagy az építómester személyének változását, vagy a kitűzéskor ejtett koncepcionális hibát.

¹²⁴ Jobbik 2024



3-13. ábra A medgyesi erődtemplom hajóboltozatának szintvonalas képe

A megvizsgált esetek besorolását a süvegfelületeik globális geometriája alapján az alábbi táblázat ismerteti:

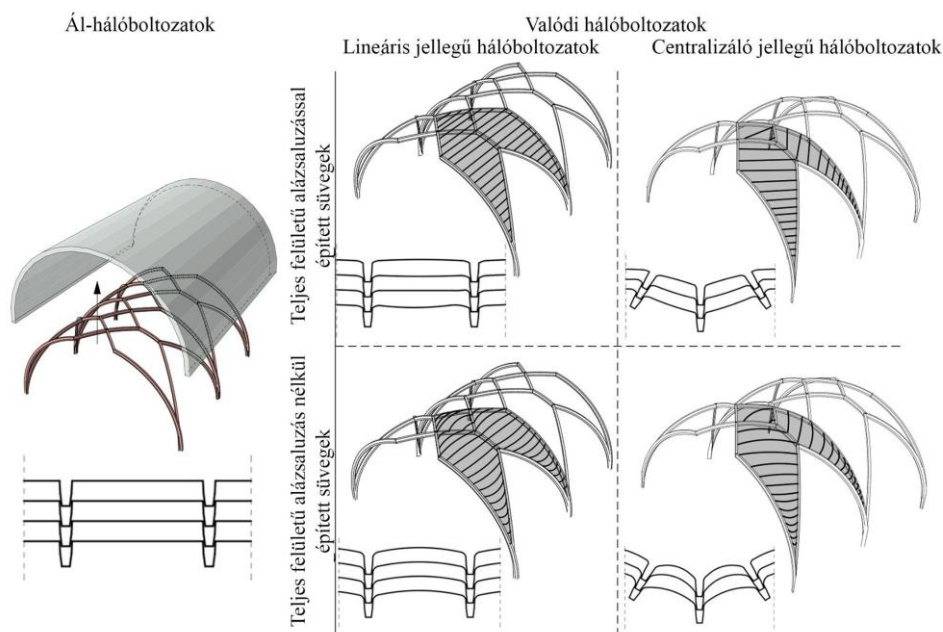
Centralizáló jellegű hálóboltozat	Lineáris jellegű hálóboltozat	Centralizáló és lineáris jelleget magassági megosztással kombináló hálóboltozat	Centralizáló és lineáris jelleget hosszanti megosztással kombináló hálóboltozat
Nyírbátor ¹²⁵	Szászbogács, hajó	Andocs, szentély	-
Szeged, szentély	Szeged, hajó	Segesvár, északi mellékhajó	-
Szeged, sekrestye	Medgyes, szentély	Segesvár, déli mellékhajó	
Siklós, várkápolna	-	Segesvár, főhajó	
-	-	-	Medgyes, főhajó
-	-	-	Medgyes, sekrestye
-	-	-	Gyulafehérvár, Lázói kápolna

¹²⁵ A boltozat felső régiójában a centralizáló egységek nem rendelhetők a travékhoz (kisebb egységek).

3.1.6 Az elvi lehetőségek szintjei, kombinálhatósága – összefoglalás

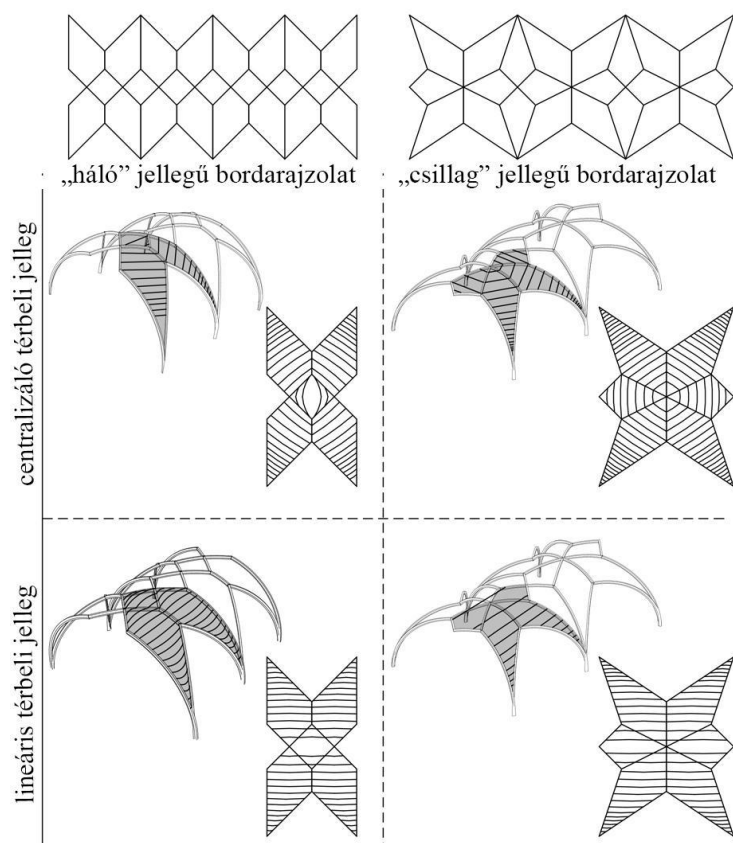
A hálóboltozatok bordahálóinak és süvegfelületeinek kapcsolatát, valamint a süvegfelületek globális geometriáját vizsgálva megállapítottam tehát, hogy valódi hálóboltozatok esetén „háló jellegű” bordarajzolatokhoz esettanulmánnyal is bizonyíthatóan társulhatott akár centralizáló, akár lineáris globális geometriával rendelkező süvegfelület is. „Csillag jellegű” rajzolat esetén sincs geometriai vagy tartószerkezeti akadálya a tisztán lineáris jelleg alkalmazásának, noha a megvizsgált boltozatok közül erre nem találtam példát. Ugyanakkor a szeged-alsóvárosi hajóboltozat értelmezhető bonyolult „csillag jellegű” rajzolatként is. Ez jól példázza, hogy „csillag jellegű” rajzolat esetén sincs akadálya lineáris jellegű süvegfelület alkalmazásának. A két jelleget alkalmazták kombinálva is, mind magassági, mind hosszanti megosztással. A hálóboltozatok süvegfelületeinek globális jellege tehát nem függ a bordarajzolatától. Ez a jelleg szintén független a süvegek építéstechnikájától: mind lineáris, mind centralizáló jellegű boltozatok épülhettek teljes felületű alázsaluzással készült, vagy kézből falazott süvegek alkalmazásával is.¹²⁶

A kétféle globális jelleg definiálása, az egymással való kombinálhatóságuknak, valamint a bordarajzolatokhoz (3-14. ábra) és a süvegek építéstechnikájához (3-15. ábra) való kapcsolatuknak a vizsgálata dolgozatom eredményeként kiemelhető, és az 1. és 2. tézisben is megfogalmaztam őket.



3-14. ábra A süvegfelületek globális jellege és a süvegfalazás módja. Összefoglaló elvi ábra

¹²⁶ Jobbik – Krähling 2024c



3-15. ábra A bordarajzolat típusa és a süvegfelület globális jellege. Összefoglaló elvi ábra

Az esettanulmányok besorolását az alábbi táblázatok mutatják:

	“Háló jellegű” bordarajzolat	“Csillag jellegű” bordarajzolat
Centralizáló globális jelleg	Nyírbátor* ¹²⁷ Medgyes, főhajó (keleti travék)	Szeged, szentély Szeged, sekrestye Siklós, várkapolna
Lineáris globális jelleg	Szászbogács, hajó Szeged, hajó* ¹²⁸ Medgyes, főhajó (nyugatibb travék) Medgyes, szentély	-
Magasság mentén kombinált globális jelleg	Andocs, szentély Segesvár, északi mellékhajó	-
Kettős (hosszanti értelemben és magasság mentén) kombinált globális jelleg	Segesvár, déli mellékhajó Segesvár, főhajó	-
Hosszanti értelemben	-	Medgyes, sekrestye

¹²⁷ A boltozat felső régiójában a centralizáló egységek nem rendelhetők a travékhoz (kisebb egységek).

¹²⁸ A boltozat értelmezhető a „csillag jellegű” rajzolat bonyolult példajaként is.

kombinált globális jelleg (tervezett: csillagháló)		Gyulafehérvár, Lázói-kápolna
---	--	------------------------------

	Lineáris globális jelleg	Centralizáló globális jelleg
Teljes felületű alázsaluzással épített süvegek	Szeged, hajó ¹²⁹ Medgyes, főhajó (nyugatibb travék) Medgyes, szentély	Szeged, szentély Szeged, sekrestye Medgyes, főhajó (keleti travék) Siklós, várkápolna
Kézből falazott süvegek	Szászbogács, hajó	Nyírbátor* Medgyes, sekrestye ¹³⁰ Gyulafehérvár, Lázói- kápolna ¹³¹
Boltozaton belül kombinált süvegfalazási technika¹³²	Andocs, szentélyboltozat Segesvár, déli mellékhajó Segesvár, főhajó Segesvár, északi mellékhajó	Andocs, szentélyboltozat Segesvár, déli mellékhajó Segesvár, főhajó Segesvár, északi mellékhajó

3.2 Kiemelt esettanulmány - “Ál-hálóboltozat” vagy “valódi hálóboltozat” kérdése a szeged-alsóvárosi templom hajóboltozatán bemutatva [5.2. tézis]

Az “ál-hálóboltozatok” és “valódi hálóboltozatok” kérdésében a magyar emléktanyag vonatkozásában kiemelt jelentőséggel bír a szeged-alsóvárosi Havas Boldogasszony templom hajóboltozatának kérdése (a teljes esettanulmányt ld. Melléklet 5.2.), mely esetében a szakirodalomban többször felmerült, hogy a jelen dolgozatban megadott meghatározás szerint definiált “ál-hálóboltozat” kategóriába esik.¹³³

A 2000-es években Harsányi István ezt az elméletet helyszíni megfigyeléseivel is alátámasztotta, hiszen egyes bordák és a hozzájuk kapcsolódó süvegfelületek között habarcskitöltést talált.¹³⁴ Elméletének másik alapját az jelentette, hogy számításai szerint a

¹²⁹ A boltozatnak vannak “dongaszerűen” épített szakaszai, de a bordaháló építése megelőzte a süvegfelület építését.

¹³⁰ Csillag-háló, van lineáris szakasza a centralizáló csillagegységek között.

¹³¹ Csillag-háló, van lineáris szakasza a centralizáló csillagegységek között.

¹³² A vállhoz közeli részekben centralizáló jelleg kézből falazott süvegekkel, a záradékhöz közeli részekben lineáris jelleg zsaluzásos technikával készült süvegekkel.

¹³³ Császár 1987-88a, 157; Harsányi 2001, 302.; Harsányi 2005

¹³⁴ Harsányi 2005, 14

süvegfelület súlya meghaladja azt a terhelést, melyet a bordaháló képes lenne elviselni.¹³⁵ A tudomány jelenlegi állása szerint utóbbi érv nem állja meg a helyét: a bordás boltozatok bordahálója és süvegfelülete osztozik a teherviselésben, és köztük dinamikus egyensúly van, mely azt jelenti, hogy a boltozatra ható erőrendszer átrendeződése esetén a boltozat belső erőjátéka is képes megváltozni.¹³⁶ A boltozat állékony marad, míg legalább egy olyan belső erőrendszer elképzelhető, mely egyensúlyi állapothoz vezet.¹³⁷ Tehát a boltozat bordahálója nem hordja a süvegfelületek teljes súlyát, azok ugyanúgy részt vesznek a teherviselésben (és adott esetben önhordóvá is válhatnak).

Harsányi az általa feltételezett építéstechnikához a következő lépéssorozatot adta meg: Először egy dongaboltozat épül, mely alá utólag készül el a bordaháló, végül a két szerkezet közötti réseket habarccsal töltik ki.¹³⁸ Véleményem szerint e módszer számos építéstechnikai korlátba vagy nehézségbe ütközik: A szegedihez hasonló lapos, szegmensíves dongaboltozat építése feltétlenül megkövetelné a zsálzat használatát. Ezt a bordaháló építése előtt el kell távolítani, majd a bordaháló felszerkesztését, kitűzését és a mintaívek pozicionálását követően a bordahálót a mintaívek és a süvegfelület közötti szűk részben kellene kivitelezni.

Vizsgálataim során¹³⁹ azt állapítottam meg, hogy a bordacsomópontok alsó síkja, nem pedig a süvegek alsó síkja jelenti a magassági értelemben meghatározott pontok halmazát: a hajó keresztmetszetébe olyan körív írható, mely átmérője a a járószint és a záradéki csomópontok alsó síkjának távolsága. Ez a körív megadja a többi bordacsomópont magassági pozícióját is. Noha nem elképzelhetetlen, hogy az építés idején kalkuláltak a bordamagasságokkal, mely által a Harsány-féle módszer alkalmazásával is megoldható lenne, hogy a bordacsomópontok alsó síkjának magassági pozíciója legyen szigorúan szerkesztett, ám a fent leírt körülményes építéstechnikával az azonosított pontos geometriai eredményt igen nehéz lenne elérni.

A boltozat szintvonalas ábrázolásán (3-16. ábra) a süvegfelületek vízszintes metszetszélvonalainak alakja a boltozat alsó zónájában (a falaktól számított második sor fallal párhuzamos borda alatt) lényegében függetlennek tűnik a boltozati bordák pozícióitól, kivéve a vállak és a fiókok közti mezők alsó, fiókokhoz kapcsolódó részén, ahol a metszetszélvonalak először a fallal szöveget zárnak

¹³⁵ Harsányi 2005, 12

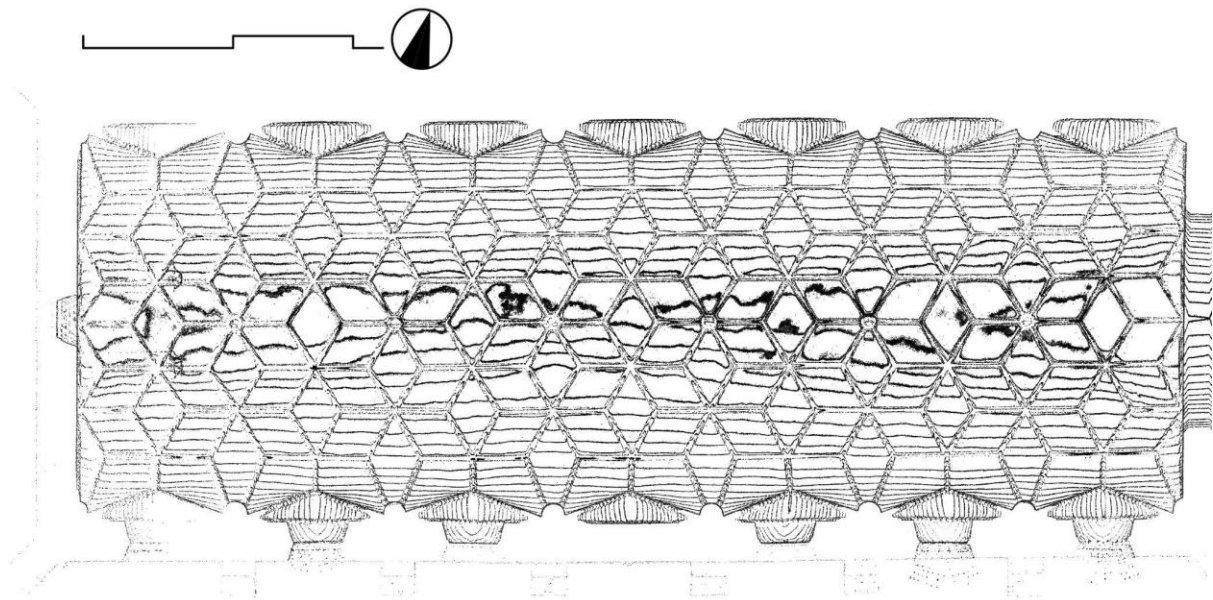
¹³⁶ Lengyel-Bagi 2015, 58

¹³⁷ Heyman 1995, 20-22; Huerta 2012, 183

¹³⁸ Harsányi 2005, 12

¹³⁹ Jobbik – Krähling 2023a; Jobbik – Krähling 2024a

be, és a fiókok csúcsának eléréséig fokozatosan a fallal párhuzamos helyzetbe fordulnak be. A boltozat felső zónájában a metsztervonalak alakja nem független a boltozati bordák elhelyezkedésétől. A metsztervonalak az alsó zónában egyenesek, a felső zónában alapvetően egyenesek, de esetenként konkáv módon ívelté válnak. A boltozat déli oldalán azt figyeltem meg, hogy a hajó közepe felé közeledve keleti és nyugati irányból a süvegfelületek metsztervonalai a fallal párhuzamos pozíciótól indulva egyre nagyobb szöget zárnak be a fallal, majd közepén ez a tendencia átfordul, és az átellenes rövid hajófal felé közeledve újból visszafordulnak a hosszú falakkal párhuzamos irányba.



3-16. ábra A szeged-alsóvárosi templom hajóboltozatának szintvonalas képe

A boltozat geometriai leírása alapján arra következtettem, hogy szegedi Havas Boldogasszony-templom hajóboltozata feltehetőleg valódi hálóboltozat, mivel a boltozat felső zónája erre utaló jeleget mutat, és építéstechnikai szempontból az ál-hálóboltozat és valódi hálóboltozat jelleg magassági értelemben történő váltása nem tűnik megoldhatónak (a bordaháló és süvegfelület építési sorrendjének tekintetében). A falazás jellegének ezt a változását a Harsányi-féle módszer szintén nem magyarázza meg.

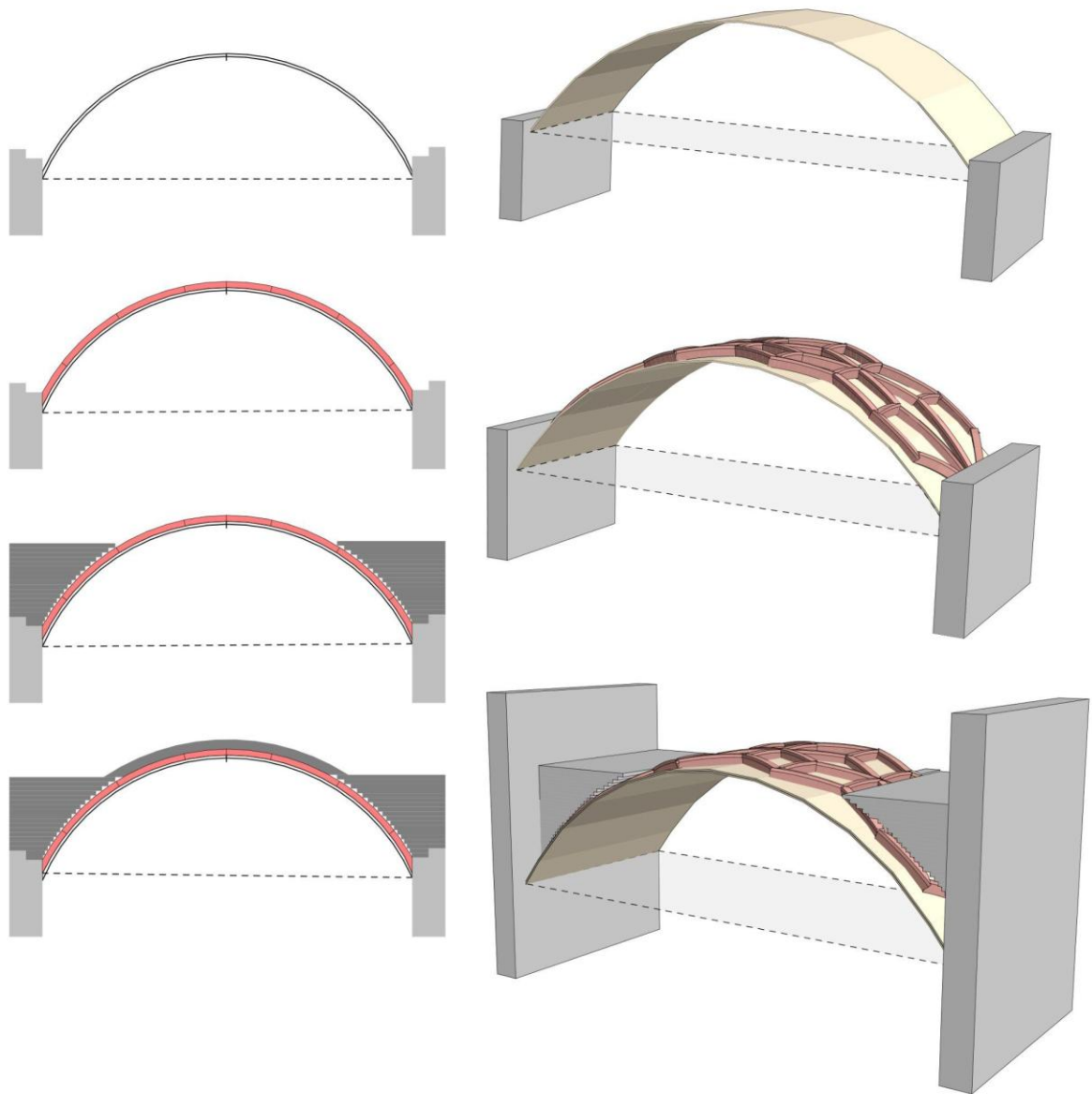
A déli oldalon megfigyelt anomália annak a – már Harsányi István által is leírt jelenségnek¹⁴⁰ – a leképeződése, hogy a boltozat ezen a szakaszon lényegében “behorpadt”. Vizsgálataim alapján ugyanakkor az is kiderült, hogy az északi és déli hajófalak teljesen függőlegesek, így a boltozat deformációjának oka nem a hajófalak dőlése. Utóbbi megállapítás, és az, hogy a

¹⁴⁰ Harsányi 2005, 26

“horpadás” sok boltmezőn keresztül az egész boltozaton fokozatosan jelentkeznek arra enged következtetni, hogy a deformáció már a boltozat építése közben kialakulhatott, majd ez az állapot rögzült. Az a tény, hogy a bordaháló és a süvegfelületek ezen a részen azonos módon idomulnak a deformált boltozatformához, arra utal, hogy a boltozat két része egyszerre vette fel ezt a formát, feltehetőleg az építés közbeni segédstruktúrák alakváltozásai nyomán. A deformáció alakja – mely mind kereszt- mind hosszirányban több borda- és süvegszakaszon keresztül fokozatosan éri el maximumát a boltozat déli oldalának közepén – arra utalhat, hogy az építés közbeni segédstruktúra ebben az esetben felület jellegű szerkezet lehetett.

A bordaháló geometriai leírása alapján az eredeti építéstechnika tekintetében a következő elméleti rekonstrukciót tartom elképzelhetőnek: Első lépésként a bordaháló zsaluzata készülhetett el, mely vagy teljes felületű zsaluzat volt (melyet a lapos szegmensív indokolhat), vagy “vonalszerű” zsaluzat, mintaívvel. Ezután elkészült a bordaháló. A boltozat déli oldalán megfigyelhető deformáció e lépés során keletkezhetett (a fent kifejtett okok miatt), és vagy a teljes felületű zsaluzat megsüllyedését, vagy a “vonalszerű” zsaluzatot tartó ideiglenes munkaszint megsüllyedését jelenthette. (Mivel a munkaszint deformációjára nehéz hihető magyarázatot találni, véleményem szerint a teljes felületű zsaluzat alkalmazása valószínűsíthető. Az alaprajzi vetületi képet kötelek segítségével enyhén íves felületen is különösebb nehézség nélkül ki lehet tűzni.) A bordaháló elkészülte után megkezdődhetett a süvegfelületek építése. Ez a falak melletti szakaszon (a fent kifejtett okokból) még történhetett zsaluzat nélkül, ám feljebb a teljes felületű zsaluzatok alkalmazását tartom valószínűnek. A boltozat alsó zónájának feltűnő dongajellege miatt azt is elképzelhetőnek tartom, hogy itt a boltozat dongaboltozatként épült, a falaktól soronként konzolosan kinyújtva. Az, hogy a boltozat alsó és felső zónájának határa kicsivel a boltozat keresztmetszeti szegmensívének harmadolópontja elé esik, tehát oda, ahol a lapos ívek tönkremenetele elsőként megtörténik, szintén emellett az elmélet mellett szólhat. E szakaszon a bordák és a süvegek között a habarcskitöltés szükséges lenne, mely magyarázhatja a Harsányi által talált habarcsos részeket.¹⁴¹ A két zóna határának elérése után a boltsüvegek építése alázsaluzott technikával folytatódhatott. Utolsó lépésként az építés közbeni segédstruktúrák eltávolíthatóvá váltak. (3-17. ábra)

¹⁴¹ Ezek pontos elhelyezkedését Harsányi nem közölte publikációiban.



3-17. ábra Építési folyamat elméleti rekonstrukciója a szeged-alsóvárosi templom hajóboltozata esetén

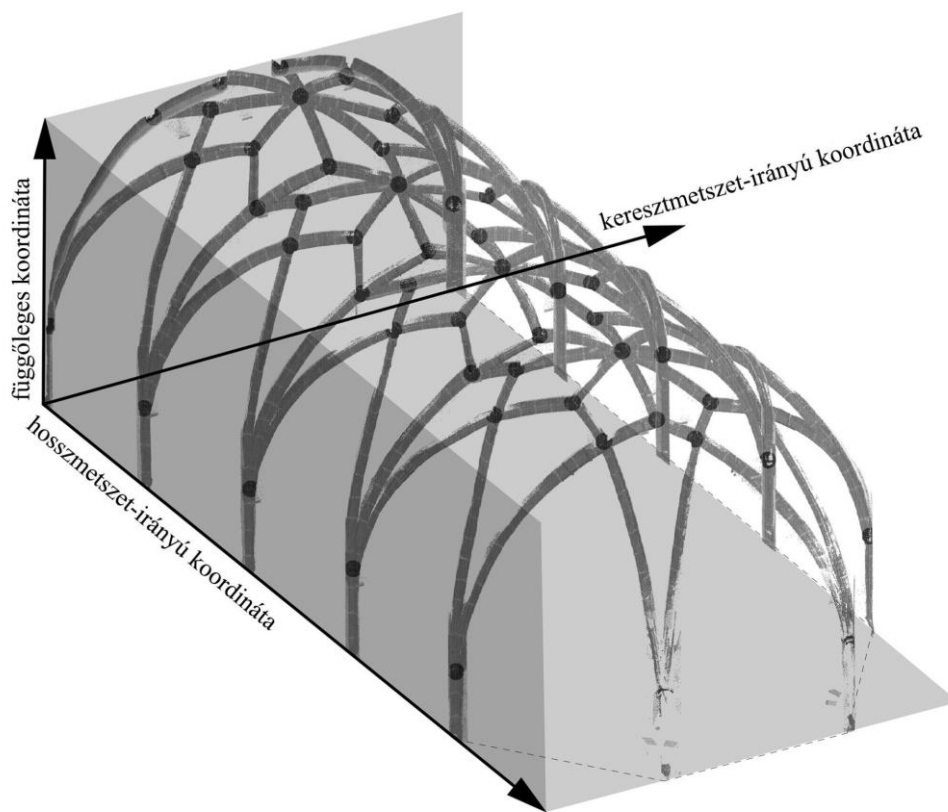
3.3 Hálóboltozatok bordahálójának geometriai vizsgálata [3. és 4. tézisek]

3.3.1 Bordaháló globális geometriája

3.3.1.1 Vizsgálati módszer

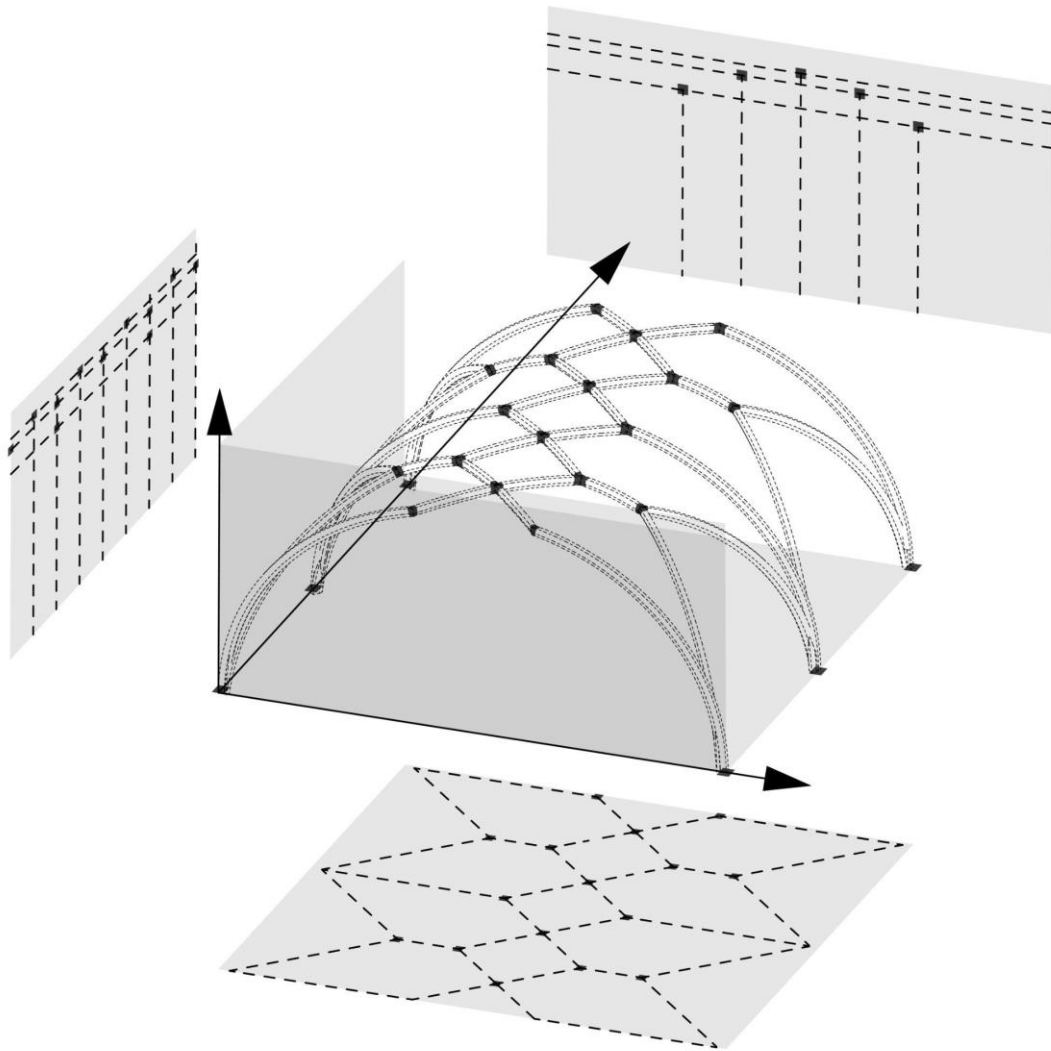
Kutatásom során a 2.2.2. alfejezetben megfogalmazottak szerint a hálóboltozatok bordahálójának vizsgálatához én is a bordacsomópontok térbeli pozícióját vettem alapul. E pozíció könnyebb értelmezhetősége és a 2.3.3. alfejezetben definiált pontos geometriai leírások megfogalmazásának egyszerűsítése végett a csomópontok pozícióját egy, az adott boltozatra

illesztett koordináta-rendszer alapján tárgyalom, mely három fő irányát a boltozat hossz tengelye, a boltozat keresztiránya és a függőleges irány jelentik. (3-18. ábra)



3-18. ábra Boltozat bordahálójára illesztett koordináta-rendszer (Szeged-Alsóváros, szentélyboltozat)

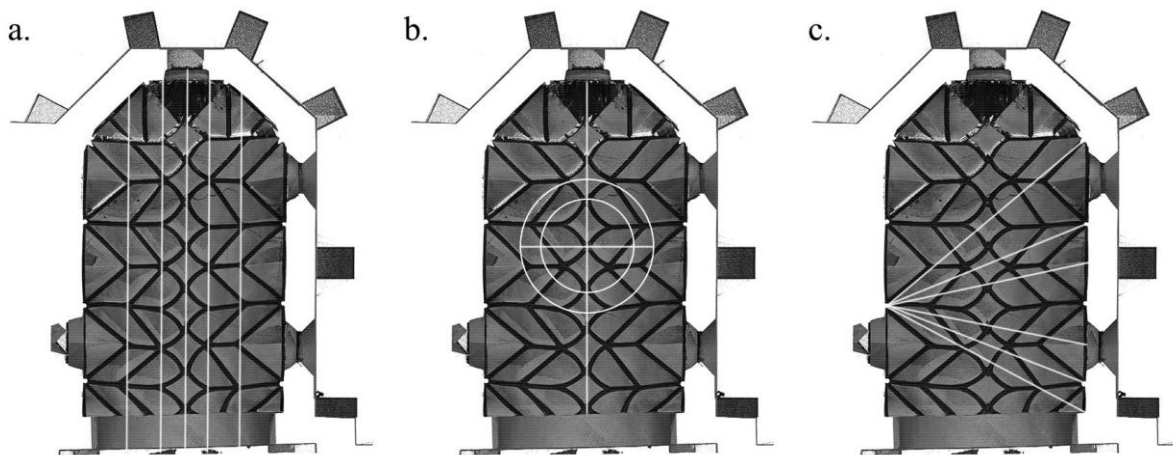
Mint a 2.2.4. alfejezetben kitértem rá, kutatásom során elhagytam a szakirodalom általánosan elfogadott alapfeltevését, miszerint a hálóboltozatok szerkesztésének első lépése szükségszerűen az alaprajzi vetület megszerkesztése volt. Ezáltal szükségessé vált annak vizsgálata, hogy milyen síkokon kezdődhet meg a szerkesztés. Itt azzal a feltételezéssel éltem, hogy a három lehetőség adódik: a fent definiált koordináta-rendszer irányai által meghatározott síkok – az alaprajzi sík (mely megfelel a korábban általánosan elfogadott elméletnek és a kereszt- és hosszmeteszeti irányú koordinátákat tartalmazza), a boltozat keresztirányával párhuzamos függőleges sík (mely a keresztmeteszeti irányú és vertikális koordinátákat tartalmazza), vagy a boltozat hosszirányával párhuzamos függőleges sík (mely a hosszmeteszeti irányú és vertikális koordinátákat tartalmazza). (3-19. ábra) E feltételezés során tehát kizártam minden olyan lehetőséget, mely a boltozatot meghatározó fő irányoktól eltér – ezt elfogadható, sőt szükségszerű lépésnek tartom, hiszen a kitérés és építés lehető legegyszerűbb megoldása nyilvánvalóan elsődleges szempont volt a késő középkorban is.



3-19. ábra Bordaháló leképezése a bordahálóra illesztett koordinátarendszer síkjaiba

Mindezek alapján a pontfelhők vizsgálata során, a pontos geometriai leírások készítésekor a boltozatok alaprajzi, keresztmetszet irányú és hosszszelvény irányú vetületeire koncentráltam. A geometriai leírásokban azokat a jellemzőket rögzítettem, melyek esetében geometriai szabályosságokat tudtam felfedezni. Az ilyen jellemzőket három fő csoportba sorolhatjuk be: a vetületeken “egyenesek”, “körök” és “átlók” azonosítására törekedtem. “Egyenesek” alatt a rendszerben azonos funkciót betöltő csomópontok adott irányú koordinátáinak pozícióját meghatározó egyeneseket értem. (3-20.a. ábra) A “körök” azonosításakor azt vizsgáltam, hogy a rendszerben azonos funkciót betöltő csomópontok az adott vetület meghatározó pontjaitól (pl. vállpontok, záradéki pontok stb.) véve azonos távolsága esnek-e. (3-20.b. ábra) “Átlók” vizsgálatakor pedig azt elemeztem, hogy a csomópontok az adott vetület két meghatározó pontját összekötő egyenesre illeszkednek-e. (3-20.c. ábra) E háromféle vizsgálat azt célozza, hogy a boltozat adott vetületének elemi geometriai szabályosságait feltárjam. Természetesen

nem zárható ki annak az elvi lehetősége, hogy szabályos geometriát e módszerektől eltérő módon hoztak létre. Ugyanakkor e három típusú elemi geometriai szabályszerűség hiánya nagy valószínűséggel kizárja a mögöttes szabályos szerkesztések meglétét.



3-20. ábra Bordaháló vetületi képeinek vizsgálati módjai. a. "Egyenesek" illesztése b. "Körök" illesztése c. "Átlók" illesztése

3.3.1.2 A "szerkesztettség" fokozatai

A hálóboltozatok bordahálójának globális geometriáját vizsgálva az egyes vetületi képeken azonosítható geometriai szabályszerűségek szisztematikus feltárása és pontos geometriai leírása jelentette kutatásom alapját. E vizsgálatok lefolytatása során szem előtt tartottam az eredeti szerkesztéstechnika azonosíthatóságának lehetőségét is. Ennek a kérdésnek a vizsgálatokor feltétlenül figyelembe kell venni azt, hogy minél szabályosabb egy adott vetületi kép geometriája, annál több szerkesztési eljárás illeszthető mögé – tehát annál kevésbé lehet a valós eredeti szerkesztéstechnika tekintetében érdemi következtetést levonni.

A pontos geometriai leírás alapján egy adott vetület "szabályosságának", tehát "szerkesztettségének" négy fokozatát különböztettem meg. Az első a "tökéletesen" (vagy közel teljesen) szabályos geometria, mely esetekben számos különféle szerkesztéstechnika alkalmazása elképzelhető. Ezt példázza a megvizsgált esetek közül a nyírbátori református templom boltozata (Melléklet 6.4.1.), melynek mind az alaprajzi, mind a hossz- és keresztirányú vetületei nagyfokú szabályosságot mutattak.¹⁴²

A szabályos geometria a eseteként is felfoghatóak azok a jelenségek, amikor egy adott vetület alapvetően szabályos geometriájában egyéb adottságok által nem indokolt, "lokális" szabálytalanságok jelentkeznek. Ezek magyarázata általában, mivel geometriai adottságok nem

¹⁴² Jobbik – Krähling 2023a

indokolják őket, feltételezhető hibahelyeket jelentenek a kitűzés illetve az építés tekintetében. Ilyen “hibahelyeket” azonosítottam például az andocsi és siklósi szentélyboltozatok alaprajzi vetületei esetében.¹⁴³ (Melléklet 7.4.1.1.; 8.4.1.1.)

A harmadik fokozat az az eset, amikor a vetület geometriája mögé egyetlen adott szerkesztésmód illeszthető, esetleg az adott vetületben a csomópontoknak csak az egyik irányú koordinátája szerkeszthető szabályosan. Ilyen példák a szászbogácsi erődtemplom és a segesvári Hegyi-templom hajóboltozatainak alaprajzi vetületei (Melléklet 1.4.1.1.; 2.2.3.1.1.; 2.3.3.1.1.; 2.4.3.1.1.), melyek esetében az alaprajzon csak a csomópontok keresztirányú koordinátája bizonyult egzakt módon szerkeszthetőnek.¹⁴⁴

Amennyiben (a 2.3.2. alfejezetben tárgyalt fenntartások mellett) elfogadjuk azt, hogy egy adott boltozat pontos geometriája az egykor alkalmazott szerkesztés és építéstechnika lenyomata, akkor elméletileg nem létezhet olyan vetület a korábban meghatározott három irányban, melyen a csomópontok egyik koordinátája sem szerkeszthető szabályosan. Kétségtelenül igaz, hogy egy bonyolult térbeli geometriával bíró szerkezetnél, mint egy hálóboltozatnál, valamilyen módon előzetesen meg kell szerkeszteni és ki kell tűzni, melyet a 3.3.1.1. alfejezet szerint a három meghatározott irány egyikével párhuzamos síkon lehet hatékonyan megtenni. Mivel a három koordinátából kettő határoz meg egy síkot, így minden síkon legfeljebb egy olyan irányú koordináta jelenik meg, mely a szerkesztett síkon nincs reprezentálva. Ennélfogva ha egy hálóboltozat adott vetületén olyan szabálytalan geometria jelenik meg, mely esetében nem azonosítható semmilyen mögöttes szerkesztés, a boltozat geometriájának utólagos deformációját tartom valószínűnek. A megvizsgált esetek között nem találtam ilyen példát, noha esetenként lokális jelleggel azonosítottam torzulásokat.

3.3.1.3 BORDAHÁLÓ GLOBÁLIS GEOMETRIÁJA - ELVI LEHETŐSÉGEK

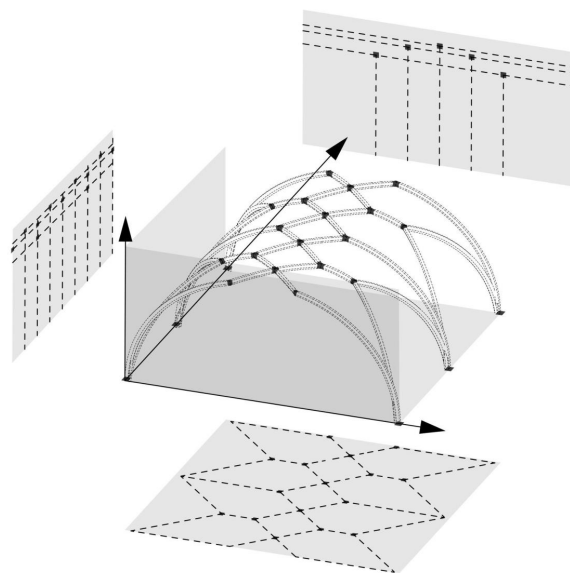
A 2.2.4 és 3.3.1.1. alfejezetekben leírtak szerint a kutatásom során nem tételeztem fel, hogy a hálóboltozatok szerkesztése az alaprajzi síkról indult, hanem vizsgáltam annak a lehetőségét, hogy a boltozat hossz- vagy keresztirányával párhuzamos függőleges síkon is megkezdhetők a kitűzések. Így geometriai és építéstechnikai szükségserűségeket alapul véve határoztam meg négy elvi kimenetelt a hálóboltozatok bordaháló-szerkesztésének alapkoncepciója

¹⁴³ Jobbik – Daragó

¹⁴⁴ Jobbik – Krähling 2022a; Jobbik – Krähling 2023b; Jobbik – Krähling 2024b; Jobbik – Krähling 2024a

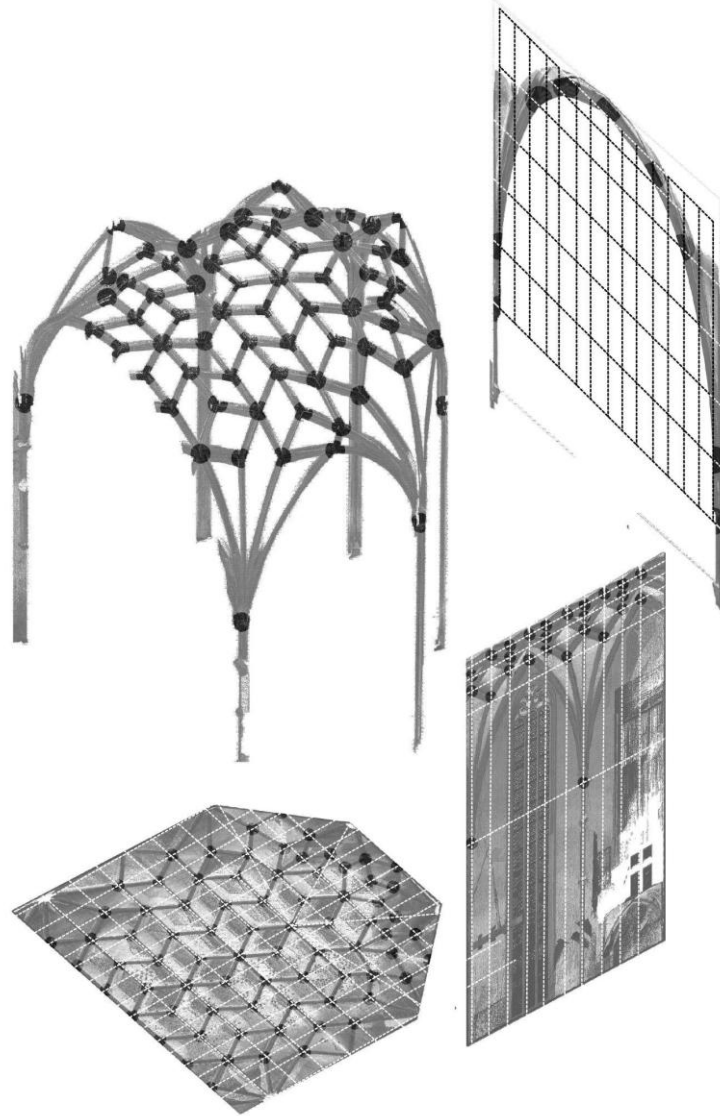
tekintetében. Ezek közül háromra találtam példákat a megvizsgált esetek között.¹⁴⁵ A hálóboltozatok bordahálójának globális geometria szerint elkülönített típusai doktori kutatásom kiemelt eredményét jelentik, így a tipológiát a 4. tézisben is megfogalmaztam.

Az első elvi kimenetel az egymástól függetlenül szerkeszthető csomóponti koordinátákon alapuló szerkesztéstechnika esete. (3-21. ábra) Ez azt jelenti, hogy a csomópontok egyik koordinátájának megszerkesztéséhez sem szükséges ismerni a másik kettőt, tehát a boltozat megszerkesztése elméletileg a vizsgálat keretét jelentő koordináta-rendszer három fő irányának megfelelő síkok bármelyikén megkezdődhetett. Ez az elvi lehetőség tehát a nagyfokú szabályosságot mutató hálóboltozatok esetében állhat fenn. A kutatásom során megvizsgált boltozatok közül ebbe a kategóriába lehetett besorolni a nyírbátori református templom boltozatát (Melléklet 6.4.3.; 3-22.ábra), a szeged-alsóvárosi templom sekrestyeboltozatát (Melléklet 5.4.3.3.), a medgyesi erődtemplom szentély- és sekrestyeboltozatait (Melléklet 3.3.3.3.; 3.4.3.3.), a gyulaféhevári Lázói-kápolna boltozatát (Melléklet 9.4.3.) és a siklói várkápolna szentélyboltozatát (Melléklet 8.4.3.), valamint a geometriai leírás alapján értelmezhetők e kategória példaként az andocsi (Melléklet 7.4.3.) és a szeged-alsóvárosi szentélyboltozatok (Melléklet 5.3.3.3.) és a medgyesi hajóboltozat négy keleti szakasza is (Melléklet 3.2.2.3.).



3-21. ábra Egymástól függetlenül szerkeszthető csomópont-koordináták esete. Elvi ábra

¹⁴⁵ Jobbik – Krähling 2024a

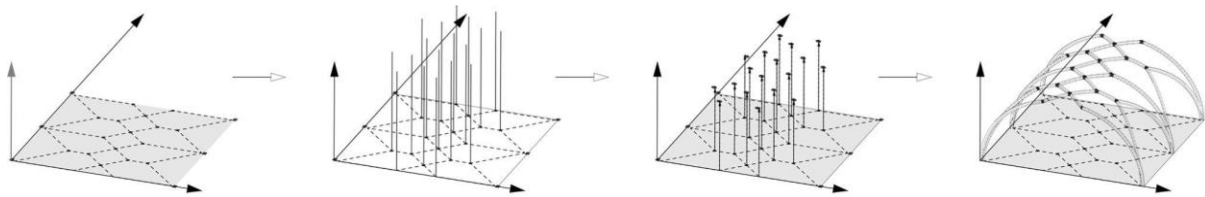


3-22. ábra Egymástól függetlenül szerkeszthető csomópont-koordináták esete a nyírbátori boltozat példáján szemléltetve

E példák esetében általánosan elmondható, hogy jellemzően a boltozott tér kontúrja (közel) szabályos volt, és a boltozatok csomópontjainak koordinátáit olyan rendszerek (kvadraturahálók és azok továbbosztása) szerint tudtam meghatározni, melyek alkalmazhatók az alaprajzi, a keresztmetszet irányú és a hosszmetset irányú vetületekre egyaránt.

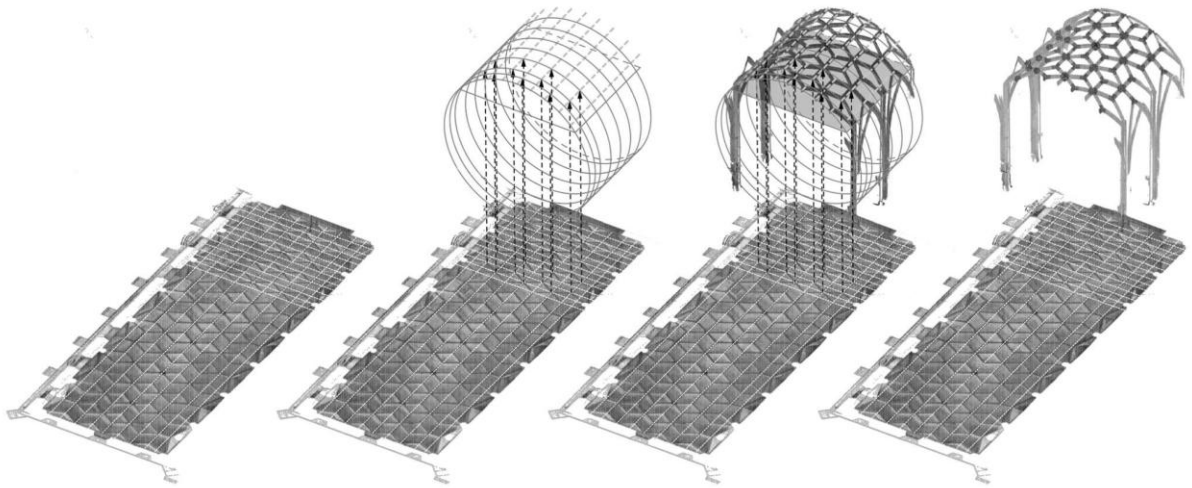
Fontosnak tartom azonban kiemelni, hogy míg ezekben az esetekben pusztán az egzakt geometriai leírások alapján nem állapítható meg elsődleges szerkesztési sík, a boltozatok kitűzésének és a megépítésükhöz szükséges építés közbeni segédstruktúrák elkészítésének legpraktikusabb módja valószínűleg az, ha a szerkesztéseket a gyakorlatban az alaprajz síkjából kezdjük, tehát ezekben az esetekben is a bordaháló csomópontjainak kereszt- és hosszirányú koordinátáit határozhatták meg először.

A második elméleti kimenetel az alaprajzi síkból kiinduló szerkesztéstechnikát jelenti. (3-23. ábra) Ezekben az esetekben a bordacsomópontok alaprajzi pozíciójának (kereszt- és hosszirányú koordinátáinak) ismerete szükséges ahhoz, hogy a magassági koordináta meghatározható legyen. Ebbe a kategóriába esik minden olyan szerkesztéstechnika, mely esetében a magasság meghatározása egy (elméleti) felületre történő felvetítést kíván meg, vagy a szakirodalomban számos szerző által leírt “leghosszabb út elvén való szerkesztés”, ahol a bordák alaprajzi vetületének hossza jelenti a magasság meghatározásának alapját (ld. még 2.2.2. alfejezet). Utóbbi jelenti a az első és második elméleti kimenetel megkülönböztetésének okát: Míg az első elméleti kimenetel esetében az alaprajzi síkból induló szerkesztéstechnika csak gyakorlati megfontolásokon alapuló feltételezés, addig a második elméleti kimenetel esetében szükségszerű, mert a csomópontok magassági koordinátája másképp nem szerkeszthető meg.



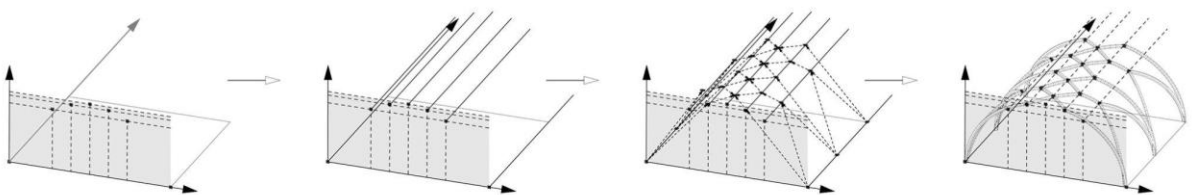
3-23. ábra Alaprajzi síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete. Elvi ábra

A kutatásom során megvizsgált esetek közül az andocsi (Melléklet 7.4.3.), valamint a szeged-alsóvárosi szentélyboltozatok (Melléklet 5.3.3.3.) és a medgyesi hajóboltozat négy keleti szakasza (Melléklet 3.2.2.3.) geometriai leírásuk értelmezésétől függően eshetnek ebbe a kategóriába. A szeged-alsóvárosi templom hajóboltozatának bordahálója (Melléklet 5.2.3.3.) pedig azt az esetet példázza, hogy a bordacsomópontok elméleti szerkesztésmódja alaprajzi képük felületre vetítéséből jön létre: a bordacsomópontok alsó síkjai egy szegmenskörív keresztmetszetű hengerpalástra (“dongára”) illeszkednek. (3-24. ábra) A szegmenskörívhez tartozó körátmérő megegyezik a teljes hajó magasságával, 2,5-szer beleírható a hajó hosszába és 1,5-szer pedig a szentély hosszába, mely összefüggések arra utalhatnak, hogy a szegmenskörív valóban a boltozat koncepciójának részét képezte, nem pedig véletlenszerűen kialakult szabályosság.



3-24. ábra Alaprajzi síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete a szeged-alsóvárosi hajóboltozat példáján szemléltetve

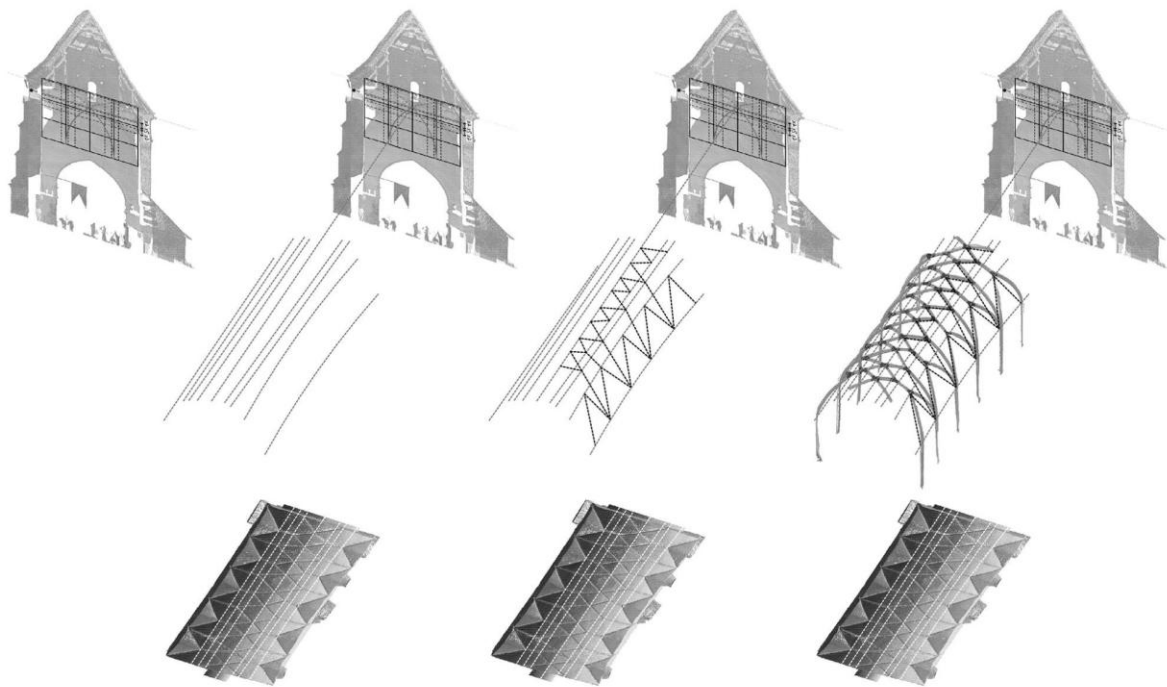
A harmadik elméleti kimenetel azt a technikát jelenti, amikor a hálóboltozat szerkesztésének első lépése egy keresztmetszet irányú síkban történik, tehát a boltozat bordacsomópontjainak kereszt- és magassági koordinátáit határozzuk meg először. (3-25. ábra) Ezt a szerkesztéstechnikát először én írtam le és illusztráltam valós példákkal a szakirodalomban, így kutatásom eredményei között kiemelt jelentőséggel bír, ezért a 3. tézisben is megfogalmaztam.



3-25. ábra Keresztmetszet irányú síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete. Elvi ábra

A kutatásom során megvizsgált esetek közül e kategóriába sorolható szászbogácsi erődtemplom hajóboltozata (Melléklet 1.4.3.), valamint a segesvári Hegyi-templom északi és déli mellékhajóinak és a főhajójának boltozatai (Melléklet 2.2.3.3.; 2.3.3.3.; 2.4.3.3.). Mindegyik azonosított eset alapvető jellemzője volt, hogy a boltozandó tér alaprajzi kontúrjai jelentős szabálytalanságokat mutattak, melyek a korábbi építési periódusok maradványaihoz való alkalmazkodás igényéből fakadhattak. Véleményem szerint a bonyolultabb, keresztmetszet irányú síkból induló szerkesztéstechnika alkalmazásának oka is ebben a szabálytalanságban keresendő, ugyanis az ilyen kontúrokba szabályos alaprajzú bordahálót szerkeszteni problémákhoz vezet: Ha a szabályos szerkesztést a záradéki vonaltól (középről) kezdjük meg, a vállpontok vagy különböző magasságba adódnak, vagy jelentős elhúzások árán

lehet csak magasságukat korigálani. Amennyiben a vállaktól indítjuk a szerkesztést, ugyanilyen jelentős elhúzások alkalmazása a záradéknál válik szükségessé ahhoz, hogy a záradéki csomópontok kialakulhassanak. Mindegyik megoldás azzal járna, hogy nagymértékű, így vizuálisan domináns korrekciók jelennek meg a térben. Ezzel szemben a szerkesztést a keresztmetszet irányú síkon megkezdve, és onnan a megkívánt keresztirányú bordapozíciókat például a szászbogácsi hajóboltozat modelljét követve a tér domináns irányaihoz igazított, egymással nem feltétlenül párhuzamos (és különböző magasságokban futó) vonalak mentén kivetítve (ld. még 3.4. alfejezet, Melléklet 1.4.3.) a szabálytalan térkontúrok miatt szükséges vizuális korrekciók több kis részletben vehetők fel, mely várhatóan az összkép tekintetében kedvezőbb eredményt nyújt. (3-26. ábra)

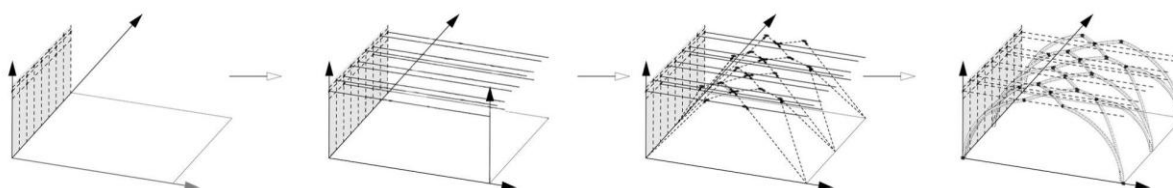


3-26. ábra Keresztmetszet irányú síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete a szászbogácsi hajóboltozat példáján szemléltetve

A harmadik elméleti kimenetel módszerét alkalmazva a csomópontok harmadik, hosszirányú koordinátáját “térben” kell definiálni – vagyis a koordináta nem szerkeszthető ki a vizsgálatokhoz bevezetett koordináta-rendszer fő irányaival párhuzamos síkon. Mindegyik azonosított konkrét esetben azt találtam, hogy a bordák bordahálóban betöltött szerepük szerinti csoportjaihoz rendelt húr hosszértékek nagyfokú egyenletessége lehet a kulcs a szerkesztésnek ehhez az utolsó lépéséhez. Ezeket a hosszértékeket meghatározott kezdőpontokból (pl. vállpontok) a kereszt- és magassági koordinátákat meghatározó egyenesekre illetve szerkeszthető a bordacsomópontok pozíciója.

A harmadik elméleti kimenetel szerkesztésmódja kapcsán ki kell emelnem azt is, hogy az elméleti szerkesztési lépések szinte magától értetődő módon fordíthatók át az építési folyamat lépéseire és az építés közbeni segédstruktúrák kialakítására. (ld. még: 4.1. alfejezet)

A negyedik elméleti kimenetel azokat az eseteket jelentené, melyeknél a szerkesztés a hosszmeteszeti irányú vetületekből indul ki. (3-27. ábra) E technika alkalmazására nem találtam példát a kutatásom során megvizsgált boltozatok között. Véleményem szerint az, hogy ezt a módszert nem, vagy csak nagyon elszórtan alkalmazták összefüggésben a harmadik elméleti kimenetel alkalmazása kapcsán kifejtett érveléssel. Amennyiben abban az esetben az alkalmazás oka valóban a szabálytalan alaprajzra szerkesztett boltozat vizuális korrekciója volt, a negyedik elméleti kimenetel alkalmazhatósága kapcsán is hasonló megfontolások játszhatnának szerepet. Ám a keresztmeteszeti irányú síkról való szerkesztés esetén a korrekciók végrehajtására a boltozat hosszirányában több hely áll rendelkezésre, tehát a lokális korrekciók kisebbek lehetnek, mint a hosszmeteszeti irányú síkról induló szerkesztés esetén, ahol a korrekciókat a boltozat keresztirányában lehetne végrehajtani. Tehát amennyiben ilyen korrekciókat szükségesnek ítélték, és ennek érdekében eltértek a feltehetően elterjedtebb és egyszerűbb alaprajzból induló szerkesztésmódtól, logikusabb választás lehetett a harmadik elméleti kimenetel technikájának alkalmazása.



3-27. ábra Hosszmeteszeti irányú síkról kiinduló szerkesztéstechnika esete. Elvi ábra

A megvizsgált boltozatoknak a bordarendszerük globális geometriája alapján való besorolását az alábbi táblázatban foglaltam össze:

Egymástól függetlenül szerkeszthető csomóponti koordinátákon alapuló szerkesztéstechnika	Alaprajzi síkból kiinduló szerkesztéstechnika	Keresztmeteszeti irányú vetületekből kiinduló szerkesztéstechnika
Andocs, szentély*	Andocs, szentély*	Szászbogács, hajóboltozat
Nyírbátor, templom	Szeged, hajó	Segesvár, északi mellékhajó
Szeged, szentély*	Szeged, szentély*	Segesvár, főhajó
Szeged, sekrestye	-	Segesvár, déli mellékhajó

Medgyes, hajó	-	-
Medgyes, szentély	-	-
Medgyes, sekrestye	-	-
Gyulafehérvár, Lázói-kápolna	-	-
Siklós, várkápolna	-	-

*: többféle elméleti kimenetel is elképzelhető az adott boltozat esetén

3.3.2 Egyedi bordageometria

3.3.2.1 Görbületi sugár

Mint a 2.2.3. alfejezetben kitértem rá, a középkori hálóboltozatok témájának szakirodalma kiemelt jelentőséget tulajdonít a bordahálót alkotó bordák görbületi sugarainak, és a vezérgörbe elv alkalmazásának. A 2.3.4. pontban külön alfejezetet szenteltem a görbületmérés lehetőségének és várható pontosság kérdésének. Az e fejezetekben elmondottakat és a kutatás során vizsgált esetek tanulságait alapul véve adott boltozat görbületi sugarainak tekintetében három alapesetet különböztethetünk meg.

A szakirodalomban igen gyakran említett vezérgörbe elv alkalmazása tekinthető ezek közül az elsőnek. Ebben az esetben a bordahálót alkotó összes borda görbületi sugara azonos. Ilyen példák a feldolgozott boltozatok közül a szeged-alsóvárosi hajó és sekrestyeboltozat¹⁴⁶ (Melléklet 5.2.3.2.; 5.4.3.2.), a medgyesi sekrestye¹⁴⁷ (Melléklet 3.4.3.2.) és a nyírbátori templom¹⁴⁸ (Melléklet 6.4.2.) boltozatai.

Azonosítottam olyan eseteket is, amikor az elvet csak részlegesen alkalmazták: a landshuti Szent Márton-templom hajóboltozata esetén a keresztirányban és az átlós irányban futó bordák görbületi sugarai csak a két csoporton belül tekinthetők egységesnek.¹⁴⁹ (Melléklet 4.4.2.) Hasonló jelenséget figyeltem meg a szászbogácsi erődtemplom hajóboltozata esetén is: a bordagörbületek csak a bordahálóban különböző funkciókat betöltő bordák csoportjain belül

¹⁴⁶ Jobbik – Budaházi 2024.

¹⁴⁷ Jobbik 2024.

¹⁴⁸ Jobbik – Krähling 2023a.

¹⁴⁹ Jobbik 2025a.

egységesek.¹⁵⁰ (Melléklet 1.4.2.1.) (Az elv részleges alkalmazásának más jellegű példáját írta le Clemens Voigts az augsburgi Georgskirche esetében: itt a vezérgörbe a bordaháló elsődleges bordái esetében azonosítható, míg a másodlagos bordák görbületi sugarai esetlegesebbek.¹⁵¹ Hasonló megoldást azonosítottam a kassai Szent Erzsébet dóm 19. századi csillagboltozatai esetén is.¹⁵²)

A többi megvizsgált esetben nem találtam nyomát a vezérgörbe elv alkalmazásának.

A szakirodalom nem fordít külön figyelmet arra a jelenségre, melyet számos, jelen dolgozat esettanulmányait jelentő emlék esetében is egyértelműen megfigyeltem: azokra az esetekre, amikor egy-egy adott bordán belül is változik a görbületi sugár. E jelenségnek vannak szabályosabb, tervezettnek ható példái, mely esetekben a változó görbületi sugár (általában két külön értelmezhető körív) finoman, határozott töréspont nélkül vált, mint a gyulafehérvári Lázói-kápolna egyes bordái esetében¹⁵³ (Melléklet 9.4.2.; 3-28. ábra). Ugyanakkor számos “rendezetlenül” megoldott példával is találkoztam, ahol egy adott bordán belül a bordaelemek ívei között töréspontok jelennek meg, esetleg a bordák egyes szakaszai oldalnézetükben is egyenesek. (pl. Medgyes, hajóboltozat [Melléklet 3.2.3.2.]) Esetenként a bordák alsó felületén utólagos alakítások nyomai is felfedezhetők, mellyel feltehetően a borda alsó felületének a bordaelemek kapcsolódási pontjánál kialakuló ugrását kívánták eltüntetni (pl. Andocs, szentélyboltozat¹⁵⁴ [Melléklet 7.4.2.1.; 3-29. ábra])

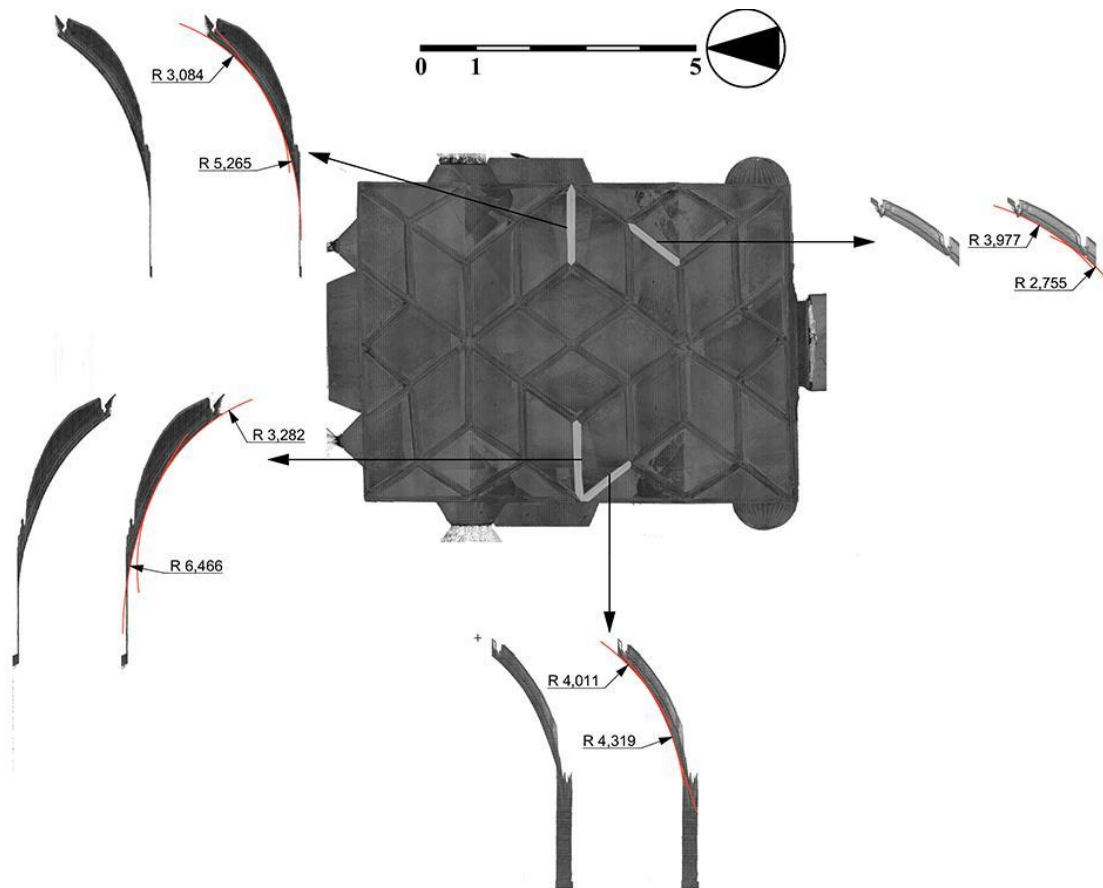
¹⁵⁰ Jobbik – Krähling 2022a.

¹⁵¹ Voigts 2015, 56-57.

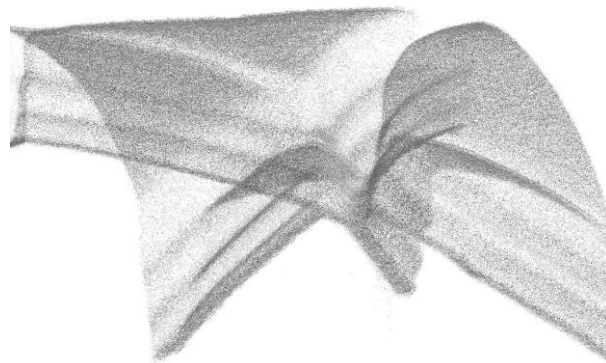
¹⁵² Jobbik 2025b.

¹⁵³ Jobbik – Halmos

¹⁵⁴ Jobbik – Krähling 2022b; Jobbik – Daragó



3-28. ábra Példa a nem egy körív mentén görbült bordákra (Gyulafehérvár, Lázói kápolna boltozata)



3-29. ábra Utólagos alakítás nyoma a borda alsó felületén (Andocs, szentélyboltozat)

A görbületi sugarak adott boltozaton belüli egyenletessége kapcsán nem hanyagolhatjuk el a bordák anyagának kérdését sem. Kő anyagú bordák esetében az egyes bordaelemeket faragják. Noha ez az egyes elemek “egyedi” kialakítását, és az elméletileg egybevágó elemek kis geometriai eltéréseit vonhatja maga után, a kifaragott alak az idő előrehaladtával legfeljebb a kőanyag pusztulása miatt szenved változásokat. Ezzel szemben a “téglabordás” boltozatok esetén a kerámia anyagú bordákat megformálásuk után ki kell égetni. Így hiába igaz az, hogy a frissen megformált bordák geometriája kezdetben, a sablonok alkalmazása miatt, teljesen

azonos, az égetés zsugorodási alakváltozással jár, és a felhasznált agyag tulajdonságai valamint az égetés hőmérséklete függvényében az egyes, azonos boltozathoz készült elemek is különböző geometriájúvá válhatnak még a beépítés előtt.

A megvizsgált boltozatoknak a bordák görbületi sugara alapján való besorolását az alábbi táblázatban foglaltam össze:

vezérgörbe elv	részleges vezérgörbe elv	nem azonosítható vezérgörbe
Szeged, hajó	Landshut, hajó	Medgyes, hajó
Medgyes, sekrestye	Szászbogács, hajó	Siklós, várkapolna
Nyírbátor, templom	-	Segesvár, északi mellékhajó
Szeged, sekrestye	-	Segesvár, déli mellékhajó
-	-	Segesvár, főhajó
-	-	Szeged, szentély
-	-	Gyulafehérvár, Lázói-kápolna
-	-	Andocs, szentélyboltozat
-	-	Medgyes, szentély

A térgörbe bordák kérdésére, és a két ilyen esettanulmány (az andocsi és siklói szentélyboltozatok) részletes ismertetésére a 4.2.4. alfejezetben, az esetek összehasonlító elemzésének értékelése kapcsán térek ki részletesen.

3.3.2.2 Ívhossz, húr hossz és ívmagasság

A gótikus hálóboltozatok bordáinak geometriája kapcsán a görbületi sugár kérdéséhez képest egyéb geometriai jellemzőket elhanyagol a szakirodalom. A görbülethez geometriai összefüggések alapján kapcsolható jellemzők az ívhossz, húr hossz és ívmagasság. Kutatásom során ezek vizsgálatára is kitértem.

Mint a 3.3.1.3. alfejezetben említettem, azokban az esetekben, amikor a bordaháló globális geometriájának megszerkesztése feltételezhetően a keresztmetszet irányú síkok egyikéből indult ki, a bordacsomópontok harmadik meghatározandó koordinátájának, a hosszirányú koordinátának a megszerkesztéséhez valószínűleg a bordák húr hosszai jelentették az alapot. Hogy a megvizsgált esetekben a húr hossz, és nem a görbülettel kézzelfoghatóbban összefüggő ívhossz tartom a szerkesztés eszközének, abból adódik, hogy méréseim szerint a húr hosszok

szórása az ívhosszok szórásánál határozottan kisebbnek adódott (ld. még Melléklet 1.4.2.; 2.2.3.2.; 2.3.3.2.; 2.4.3.2.). A szászbogácsi példa esetén a húrhosszértékek szórásának mértékét alapul véve a kitűzés feltételezhető sorrendjének elméleti rekonstrukciójára is kísérletet tudtam tenni (ld. még 3.4. alfejezet és Melléklet 1.4.3.2.).

Természetesen azokban az esetekben, amikor a bordaháló igen nagyfokú geometriai szabályossága áll fenn (mint az első elméleti kimenetel példái esetén), a húrhossz értékek is hasonlóképp szabályosak. Ám ilyenkor, mint a 3.3.1.3. alfejezetben is kitértem rá, a legegyszerűbben kivitelezhető szerkesztés- és építéstechnika, az alaprajzból induló szerkesztés alkalmazása valószínűsíthető, így az egyedi bordageometria szabályosságai feltehetőleg inkább a szabályos globális geometria következményének tekinthetők, mintsem a szerkesztés során aktívan felhasznált értéknek.

3.4 Kiemelt esettanulmány - A keresztmetszet irányú vetületből kiinduló építéstechnika kérdése a szászbogácsi erődtemplom hajóboltozatának példáján [5.1. tézis]

A kutatásom során azonosított, globális bordaháló geometria szerkesztésére irányuló azon módszer tekintetében, mely során a szerkesztés a keresztmetszeti iránnyal párhuzamos síkban kezdődik, kiemelt jelentőséggel bír a szászbogácsi erődtemplom boltozatának elemzése. A módszert először ezen a boltozaton azonosítottam, és a boltozat geometriájának egyedi vonásai miatt a szerkesztés-és építéstechnika más példákhoz képest szokatlanul részletes elméleti rekonstrukciójára volt lehetőségem.¹⁵⁵ (Melléklet 1.) A boltozat geometriai leírását és a szerkesztéstechnika elméleti rekonstrukcióját ezért a dolgozat törzsszövegében is közlöm, és az 5.1. tézisben is kiemelem.

A hajóboltozat alaprajzi kontúrját tekintve látszik, hogy az igen szabálytalan: a két rövid fal egymással nem párhuzamos, az északi hajófal enyhe, míg a déli hajófal igen erőteljes görbületet vesz fel (melyek csak a boltozat szintjén jelennek meg, a falak aljánál nem). Az északi oldalon a boltvállak helyzete megfelel a támpillérek pozíciójának, ám a déli oldalon, a déli kapu környezetében ez már nem igaz. Itt a boltvállak igazodnak az északi oldal boltvállaihoz, mely nem azonos a kapu két oldalán álló támpillérek pozíciójával. A bordaháló alaprajzi vetületét (a bordacsomópontok kereszt- és hosszirányú koordinátáit) vizsgálva első ránézésre feltűnik, hogy a bordacsomópontok igen szabálytalan módon helyezkednek el.

¹⁵⁵ Jobbik – Krähling 2022a

A bordacsomópontok keresztirányú koordinátáit tekintve a következő megállapításokat tettem: A záradékvonal alaprajzi értelemben a két rövid fal felezőpontját összekötő vonal. A bordahálóban azonos pozíciót betöltő csomópontok a boltozat északi illetve déli oldalán az alaprajzon vizsgálva azonos egyenesekre esnek, melyek közül viszont csak az azonos oldalon lévő egyenesek párhuzamosak egymással: az északi és déli oldali egyenesek sem egymással, sem a záradék vonalával nem párhuzamosak. Ez alól kivételt jelentenek a déli oldali fiókok csúcsának csomópontjai, melyek nem egy egyenesre, hanem a déli hajófallal párhuzamosan ívelt vonalra illeszkednek. Megállapítottam továbbá, hogy az északi oldal csomópontjainak alaprajzi pozícióját meghatározó egyenesek az északi fal keleti részének egyenes szakaszával párhuzamosak, míg a déli oldali csomópontok egyenesei (a fiókok csúcspontjait meghatározó ívtől eltekintve) a déli hajófal keleti oldalának egyenes szakaszával párhuzamosak. Ezen kívül a csomóponti pozíciókat meghatározó hosszanti egyenesek keleti fallal való metszéspontjai alaprajzi értelemben szabályos eloszlást mutatnak: az északi és déli oldal egymásnak megfelelő egyenesei a középponttól azonos távolságban indulnak. Ugyanez a nyugati oldal esetében nem igaz.

A bordaháló hosszirányú vetületein elemezve a bordacsomópontok magassági és hosszirányú koordinátáit arra jutottam, hogy a bordahálóban azonos szerepet betöltő csomópontok mind a déli, mind az északi oldalon minden esetben egy egyenesre esnek. Az összes egyenes párhuzamos egymással, és enyhén nyugat felé lejt.

A bordaháló keresztirányú vetületei közül az alaprajzi vetületen azonosított szabályosságok alapján azt elemeztem, mely a bordaháló-csomópontok alaprajzi és hosszanti pozícióját meghatározó egyeneseknek a keleti rövidfallal való metszéséből adódik. Ez alapján a vetület alapján rekonstruálni tudtam egy szabályos szerkesztőhálót, mely meghatározza ezeknek a metszéspontoknak (és így áttételesen a bordaháló-csomópontoknak) a keresztirányú és magassági koordinátáit. A szerkesztőháló kiindulási alapja egy 4:3 szélesség-magasság arányú téglalapba foglalható (így tehát a hajó legkeletibb szélessége 4 egység). E hálót alapul véve a záradékmagasság a falaktól 1 egységgel beljebb helyezett középpontú, három egység sugarú körök metszésével adódik – ezzel a lépéssel a kvadratúrahálón belül egy triangulációként értelmezhető aspektus is megjelenik. Innen a kvadratúraháló egyszerű arányokkal való továbbosztásával szerkeszthető a metszéspontok két vizsgált koordinátája. Ezen kívül ugyanennek az arányrendszernek az alapját adó érték a bordaprofil magasságában is visszaköszön.

A bordák ívhosszai és húrhosszai (a köztük fennálló geometriai kapcsolat miatt) számértékeiket tekintve alapvetően közel esnek egymáshoz. Ám a két érték közül a húrhosszok az ívhosszoknál kisebb szórást mutattak¹⁵⁶, így arra a következtetésre jutottam, hogy a két érték közül a húrhosszokat kell mérvadónak tekintenem, és az ívhosszok tekintetében tapasztalt szabályosságok pusztán a tervezett húrhosszok következményei. Az értékeket vizsgálva azt állapítottam meg, hogy a bordahálón belül azonos szerepet betöltő bordák esetében a húrhosszok egységesnek tekinthetők. Így a bordák (és a hozzájuk tartozó húrhosszok) csoportjai a következőként adódnak:

- a fiókok bordái
- a vállakból induló (hosszú) keresztirányú bordák
- a hosszú keresztirányú bordákhoz csatlakozó záradéki bordák
- a fiókok csúcsából induló (rövid) keresztirányú bordák
- a rövid keresztirányú bordákhoz csatlakozó záradéki bordák.

Az utóbbi két típus esetén a boltozat déli oldalán előfordul az, hogy a bordák húrhosszkategóriái és a bordahálóban betöltött szerepük keveredik (tehát e két húrhossz kategóriát kissé következtelenül alkalmazták). Összességében azt állapítottam meg, hogy a fiókok bordái és a hosszú keresztirányú bordák mutatják a legkisebb szórást, melyet a hosszú záradéki bordák alig haladnak meg, míg a rövid keresztirányú bordákat és az ezekhez csatlakozó záradéki bordákat nagyobb, de még mindig nem számottevő szórás jellemzi. A boltozat északi oldalán alapvetően kisebb szórás figyelhető meg, mint a déli oldalon.

A bordaháló geometriai leírása alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a szászbogácsi erőtemplom hajóboltozatának szerkesztése a keresztmetszeti síkból kiinduló szerkesztések csoportjába tartozik. Az bordaháló alaprajz esetében nem tudtam olyan szabályos szerkesztést rekonstruálni, mely alapján azt feltételezhetném, hogy a szerkesztés az építés idején ebből a síkból indult ki. Ugyanakkor azoknak az alaprajzi és hosszirányú vetületeken definiálható hosszanti egyeneseknek az azonosíthatósága és egymással, valamint a hajó alaprajzi kontúrával való összefüggéseik arra engednek következtetni, hogy ezek a térben definiálható vonalak szerepet játszottak a boltozat bordahálójának kitűzésekor. Az egyenesek térbeli pozíciói tekintetében a keleti rövid hajófallal való metszéspontjaik jelentik az egyetlen olyan helyet, ahol nem csak a magassági koordináta tekintetében, hanem keresztirányban is egységes

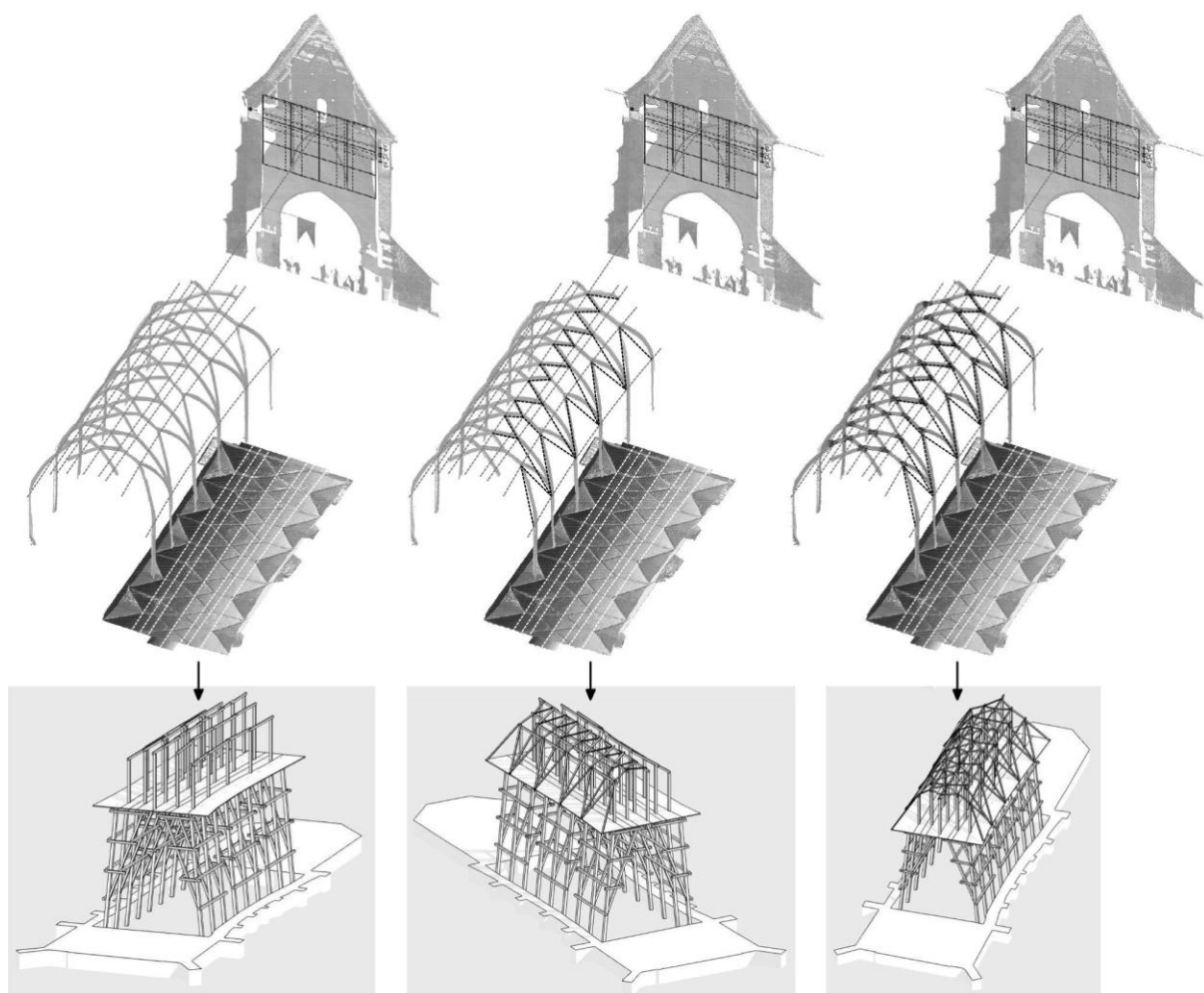
¹⁵⁶ A későbbiekben definiált csoportok szerint.

szerkesztéstechnika azonosítható az északi és a déli oldal esetében. Ez alapján arra a következtetésre jutottam, hogy ezen a keresztmetszeten kell a kiindulást jelentő szabályos szerkesztést keresni, melyet valóban azonosítani tudtam a metszet geometriai vizsgálata során. Ezután a hosszanti egyenesek az alaprajzi szerkesztések vizsgálata során azonosított irányokat követve kitűzhetők voltak. Feltételezésem szerint ezek a térbeli egyenesek az építés során fizikai formát is öltöttek mint építés közbeni segédszerkezetek. Ez azért is valószínű, mert azonos mértékben lejtenek nyugatra, mely oka a munkaszint lejtése lehet. (ld. még 4.1. fejezet)

A bordaháló-csomópontok így meghatározott keresztirányú és magassági koordinátáihoz a hosszirányú koordinátákat – az alaprajzi vizsgálatok tanúsága szerint – nem egyszerűen az egyenesek azonos hosszúságú szakaszokra osztásával definiálták. Feltételezésem szerint e célra a bordahálóban azonos szerepeket betöltő bordák igen egységesnek adódó húr hosszait használták. (A húr hosszértékek igen kis szórása azért is szembeötlő, mert a bordák alaprajzi vetületi hosszai közel sem mutatnak ilyen mértékű szabályosságot.)

A húr hosszértékek csoportonként vett szórásai alapján további feltételezésekkel élhettem: A húr hosszok az északi oldalon alapvetően kisebb szórást mutattak, mint a déli oldalon, illetve a fiókok bordái, a vállból induló (hosszú) keresztirányú bordák és az ezekhez csatlakozó (hosszú) záradéki bordák csoportjai egységesebbnek bizonyultak, mint a fiókokhoz csatlakozó (rövid) keresztirányú bordák és az ezekhez csatlakozó (rövid) záradéki bordák. Ezek alapján úgy gondolom, hogy az egyes bordacsomópontok kitűzésének sorrendjére is lehet következtetni: Feltételezésem szerint az előre meghatározott húr hosszértékeket az északi vállpontoktól kezdték el kitűzni¹⁵⁷ a térben megjelenő hosszanti egyeneseket reprezentáló építés közbeni segédszerkezetekhez. A vállpontokhoz csatlakozó bordák végpontjainak meghatározása után a hosszú záradéki bordák következtek, ami egyben definiálta a záradékvonalra eső a csomópontok pozícióját is. Végül a rövid keresztirányú és a hozzájuk kapcsolódó rövid záradéki bordákat határozták meg, melyek enyhén szabálytalanabb volta azzal magyarázható, hogy a kívánt rajzolat mellett az állékony szerkezet és pontszerűen definiálható csomópontok elérése véget a kiindulási állapotból (szabálytalan alaprajzi kontúr) adódó szabálytalanságok miatt előállt elcsúszásokat ezekkel vették fel. (3-30. ábra)

¹⁵⁷ A boltvállak pozíciói vagy egy korábbi boltozat maradványát jelentik, vagy az északi oldali támpilléreknek feleltették meg a boltvállakat a jelenlegi boltozat építésekor.

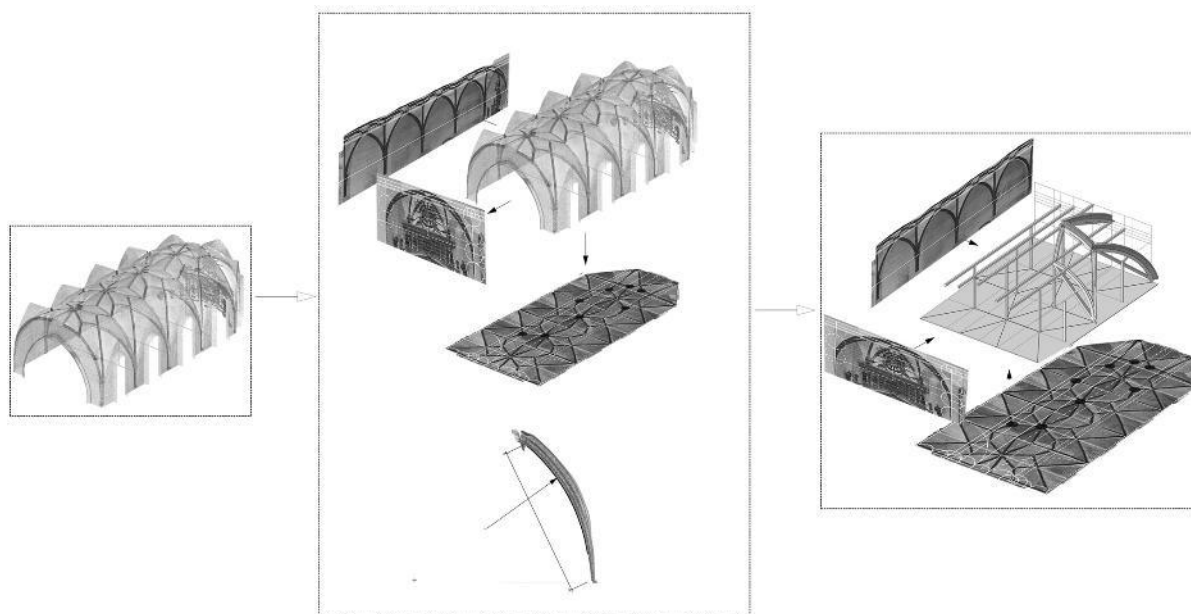


3-30. ábra A szászbagácsi hajóboltozat rekonstruált szerkeztéstechnikájának építés közbeni segédstruktúráként való megjelenése. Elméleti rekonstrukciók

4 Geometriai és szerkezeti összefüggések II. - Alkalmazások

4.1 Építési folyamatok elméleti rekonstrukciói

Ahogy a 3. fejezetben többször utaltam rá, és a 3.2. illetve 3.4. alfejezetekben ismertetett kiemelet esettanulmányok is szemléltették, a hálóboltozatok pontos geometriai leírásai esetenként további, a szerkesztés-és építéstechnikára vonatkozó következtetések levonására is alkalmas alapot jelentenek. Természetesen míg a geometriai leírások egzakt, adat jellegű információt jelentenek, a belőlük levont következtetések már nem tekinthetők teljesen bizonyosnak. A 3. fejezetben ismertettem a szerkesztéstechnika rekonstrukcióinak elméleti rendszerét, mind a boltsüveg és bordaháló egymással való kapcsolata, mind pedig a boltsüveg és a bordaháló globális geometriája tekintetében. Ahogy már ebben az összefüggésben is rávilágítottam, minél szabályosabb egy hálóboltozat geometriája, annál általánosabbak a szerkesztés- és építéstechnikai rekonstrukciók, melyek készíthetők róla, hiszen szabályos geometria számos eltérő folyamat eredményeként kialakulhat, míg a “szabálytalanságok” csökkentik a feltételezhető módszerek számát. (4-1. ábra)



4-1. ábra Az alkalmazott módszertan lépései. Pontos geometria (pontfelhő), bordaháló vetületi képeinek és az egyedi bordageometriának a vizsgálata, építés közbeni segédstruktúrák elméleti rekonstrukciója

A 3.3 alfejezetben ismertetett, különböző síkok megszerkesztésének sorrendjére vonatkozó tipológia azon esetei, amikor meghatározható egy sík, mint a szerkesztési folyamat kiindulási síkja (második, harmadik, és elméletileg a negyedik esetek) egyben az építési folyamatok elméleti rekonstrukciójához is támpontot adnak. Az elméleti sík meghatározása esetenként

tovább konkretizálható: a szeged-alsóvárosi hajóboltozatnál, mely az alaprajzi síkból kiinduló szerkesztéstechnika példája volt, a bordacsomópontok függőleges koordinátáinak hosszmeteszet irányú vetületen való vizsgálatakor azonosítható egy enyhe lejtés nyugat felé (Melléklet 5.2.3.1.2.), mely oka véleményem szerint a munkaszint, és így a teljes építés közbeni segédszerkezet lejtéséből következett. Hasonló jelenség látszik a szászbogácsi hajóboltozat boltozata esetén is. (Melléklet 1.4.1.2.) Noha ebben az esetben a keresztmeteszet irányú síkból való kiindulást tartom valószínűnek, mint eredeti szerkesztéstechnika, a munkaszint, és így az építés közbeni segédszerkezetek folyamatos, egységes lejtése itt is magyarázza a jelenséget.¹⁵⁸

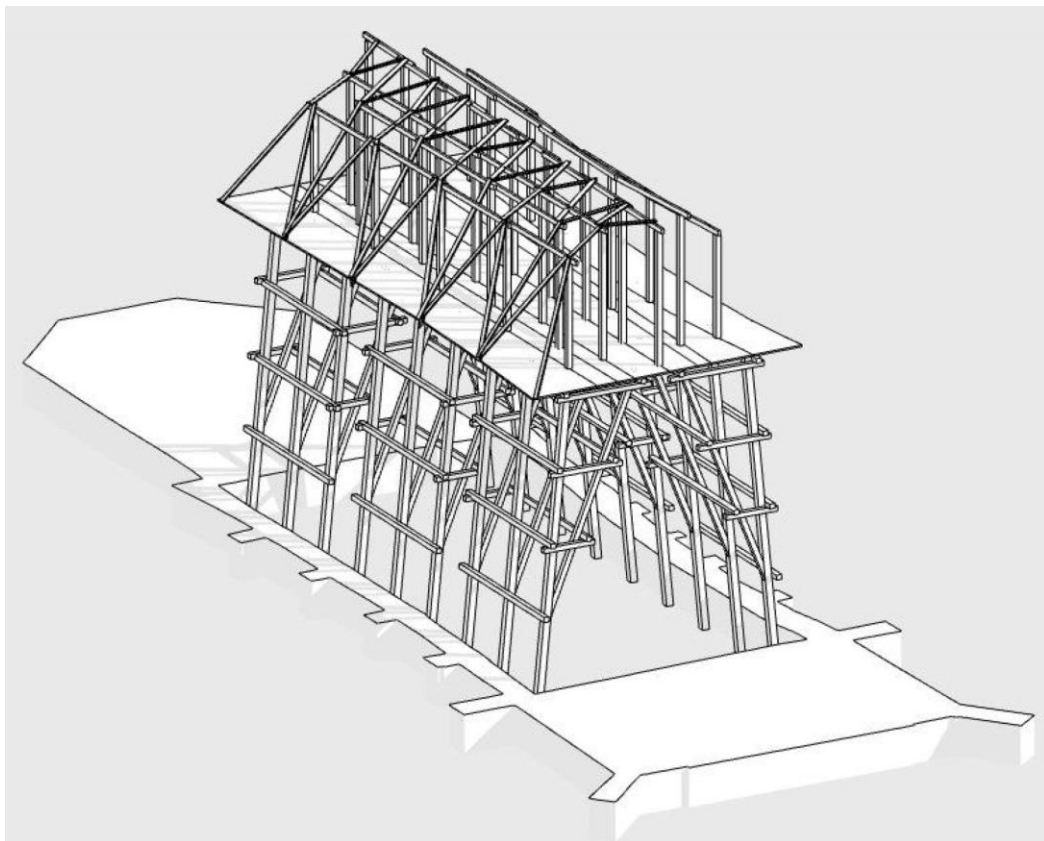
Ahogy a 2.2.2. alfejezetben a szakirodalom értelmezései kapcsán kifejtettem, a legtöbb esetben az építés közbeni segédszerkezetek jellege szempontjából a vonalszerű szerkezetek alkalmazását tartom valószínűnek a felületszerű szerkezetekkel szemben. Ugyanakkor, ahogy a 3.2. alfejezet kiemelt esettanulmánya, a szeged-alsóvárosi hajóboltozat esetében is kitértem rá, elképzelhetők lehetnek olyan hálóboltozatok, ahol felületszerű segédszerkezetek használata valószínűsíthető.¹⁵⁹ Ki kell emelnem, hogy e példa esetében a boltozat deformációjának jellege jelentette e következtetés egyik alapját. Ez arra is utal, hogy amennyiben a deformáció nem következett volna be, sokkal kevesebb alapja lett volna a felület jellegű segédszerkezet feltételezésének, mely perspektívába helyezheti azt, hogy mennyi szerkesztés- és építéstechnikai következtetés az, ami valóban visszafejthető egy-egy konkrét eset kapcsán.

A nagyfokú szabályosságot mutató példák esetén tehát a vonalszerű segédszerkezetek alkalmazása csak valószínű feltételezés, mely a geometrián túl az építési gyakorlatot is figyelembe veszi. E segédszerkezetek pontos kialakítására általános esetben még csupán nagyobb bizonytalansággal következtethetünk. Esettanulmányaim közül e tekintetben is azok emelhetők ki, melyek feltehető szerkesztéstechnikája a keresztmeteszet irányú síkból való kiindulás: a szászbogácsi és a segesvári hajóboltozatok. E példáknál a szabálytalan geometria miatt a szerkesztéstechnika elméleti rekonstrukciójának készítésekor kevesebb bizonytalanság alakul ki, és a rekonstruálható szerkesztéstechnika szinte magától adódóan átfordítható építés közbeni segédszerkezetekre. (Hasonló példa lehet az andocsi szentélyboltozat esete is, ahol, noha több konkrét szerkesztéstechnikát is elképzelhetőnek tartok, ezek mindegyike olyan specifikus, hogy a szerkesztéstechnika közvetlenül átfordítható lehet építés közbeni segédszerkezetekre. [Melléklet 7.4.3.]

¹⁵⁸ Jobbik – Krähling 2022a

¹⁵⁹ Jobbik – Krähling 2023a

A szászbogácsi templomhajó boltozata (Melléklet 1.4.3.) esetében a szabályosan szerkeszthető vetület a bordacsomópontok keresztirányú koordinátáit meghatározó vonalak és a diadalív falának metszéspontjaiból alakul ki. Ahogy korábban említettem, maguk a vonalak irányait tekintve a boltozat északi oldalán az északi hajófal keleti végéhez, a boltozat déli oldalán pedig a déli hajófal keleti végéhez igazodnak (a legdélibb vonal a déli hajófal görbületét veszi fel), míg a záradék a nyugati és keleti hajófalak középpontjainak összekötéséből adódik. Úgy tűnik tehát, hogy a vetület szabályos geometriáját egyszer, a diadalív síkjában szerkesztették meg, majd innen “vetítették ki” a boltozat hossziránya mentén. E hosszanti rendszer rögtön elképzelhető egy fából ácsolt építés közbeni segédszerkezet-rendszerként is, mely végül a bordák húr hosszainak felhasználásával vált teljessé. Ezeknek az értékeknek a segítségével a csomópontok harmadik, hosszirányú koordinátája is meghatározhatóvá vált, akár rögtön a hosszanti fa segédszerkezetekre felmérve (feltehetően először kötelek segítségével). Ez a segédszerkezet-rendszer hosszanti típusúnak tekinthető, hiszen az elsődleges szerkezet a boltozat hossza mentén végigfut.¹⁶⁰ (4-2. ábra)

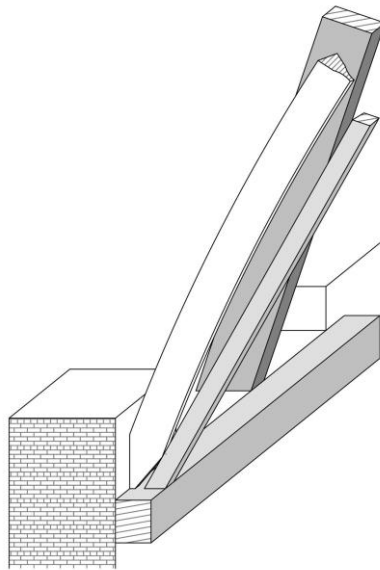


4-2. ábra Építés közbeni segédszerkezet elméleti rekonstrukciója a szászbogácsi erőtemplom hajóboltozatához

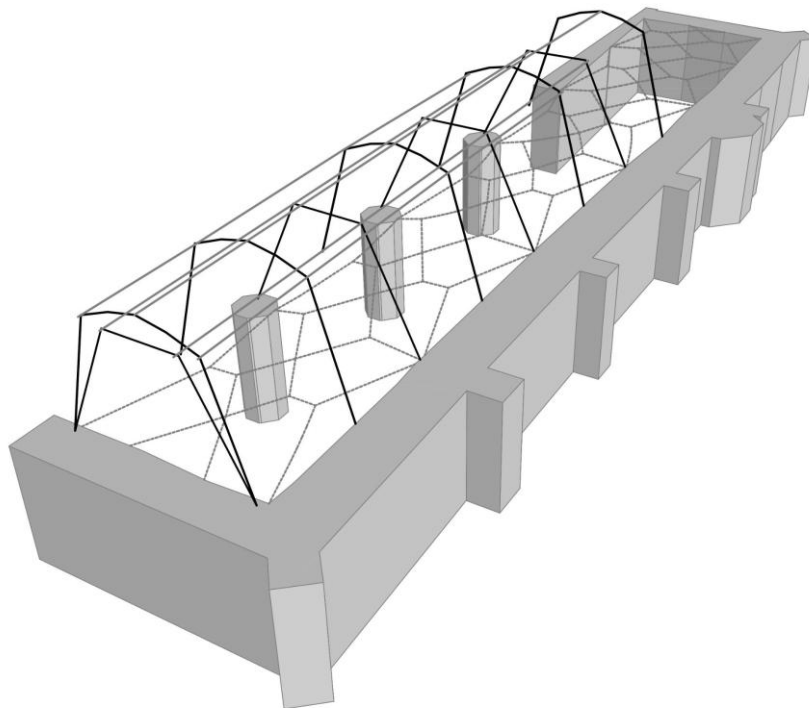
¹⁶⁰ Jobbik – Krähling 2022a

Noha a szerkesztés alapgondolata, a keresztmetszet irányú sík mint kiindulás, a szászbogácsi boltozathoz hasonlóan a segesvári Hegyi-templom északi hajóboltozatára is igaznak bizonyult, a szerkesztéstechnika részletei eltérnek, és más jellegű segédszerkezetekre engednek következtetni. (Melléklet 2.2.3.3.) Alapvetően valószínű, hogy e boltozat esetében is egy keresztmetszet irányú sík jelentette a szerkesztés kiindulási síkját. Ugyanakkor, mint a geometriai leírás során kitértem rá (Melléklet 2.2.3.1.), a csomópontok (a keresztirányú koordináták tekintetében) nem mindig esnek pontosan az egyenesekre. Ám megfigyeléseim szerint azokon a pontokon, ahol ezek az eltérések jelentkeznek, a hajó északi fala alaprajzi értelemben nem teljesen egyenes. Úgy gondolom, hogy ennek a jelenségnek talán építéstechnikai magyarázata lehet. Elképzelhetőnek tartom, hogy azok az egyenesek, melyek mind alaprajzi, mind hosszmetset irányú vetületi képen párhuzamosak egymással, olyan módon jelennek meg építés közbeni segédszerkezetként, hogy annak megtámasztása leképezte a keresztmetszeti irányú vetületen rekonstruált szerkesztőhálót. Ez a gyakorlatban a szerkesztőháló által kijelölt csomóponti pozíciók keretszerű összekötését jelenthette. Ebben az esetben ezeket a kereteket az építés során az északi hajófallal összefüggésben pozícionálhatták, így ha a fal síkjában anomália jelent meg, ezt az építés közbeni segédszerkezetek, és így végül a boltozat geometriája is leképezte. (4-3. ábra) Ezt az elméletet támasztja alá az a geometriai megfigyelés, hogy ha az elméletileg rekonstruált kereteket a fal anomáliáit figyelembe véve elhelyezzük, és a hosszirányú egyeneseket olyan módon tagoljuk töréspontokkal, hogy mindig a keretek megfelelő pontjait kössék össze, minden bordacsomópont pontosan az így meghatározott hosszirányú törtvonalakra esik. (Érdeemesnek tartom kiemelni, hogy azokon a pontokon, ahol az itt kifejtett okokból a keretek pozícióinak módosítása valószínűsíthető, de a csomópont az eredetileg meghatározott hosszanti egyenesekre is illeszkedett, a törtvonalra módosított egyenesek olyan közel esnek e pozíciókhoz, hogy mindkét illeszkedés elfogadható.) (4-4. ábra) Az itt kifejtett, “kereteket” alkalmazó elméletileg rekonstruált építésmód a keleti négy travében működik. A torony melletti két travé esetén, mivel e travék északi és déli határa nem párhuzamos egymással, az elmélet csak kis módosítással alkalmazható: a “kereteket” a középpontjuknál széthúzva a két oldal külön-külön szerkeszthető marad. A bordacsomópontok hosszirányú koordinátáinak meghatározására ez esetben is a húrhosszok használatát tartom valószínű megoldásnak, mely itt is akár rögtön anyagi valójában, segédszerkezetek formájában

is megjelenhetett (ld. még: Melléklet 2.2.3.3.). Ez az elméletileg rekonstruált segédstruktúra a szászbogácsi példa hosszanti jellegével szemben tehát szakaszoló jelleget vesz fel.¹⁶¹



4-3. ábra A feltételezett építés közbeni segédstruktúra és a fal relatív pozíciója a segesvári Hegyi-templom északi mellékhajóboltozata esetén



4-4. ábra Építés közbeni segédstruktúra jellegének elméleti rekonstrukciója a segesvári Hegy templom északi mellékhajójához

¹⁶¹ Jobbik – Krähling 2023b

4.2 Boltozatgenealógia [6. tézis]

A 3. fejezetben ismertetett pontos geometriai leírásokon alapuló szerkesztés- és építéstechnikai tipológiák, valamint a belőlük levezethető elméletileg rekonstruált építési folyamatok (4.1. alfejezet) új, eddig nem elemzett adatokat jelentenek a hazai hálóboltozat-emlékanyag tekintetében, így ezeknek az eredményeknek a magyar későközépkori építészet összképe szempontjából is lehet jelentősége. Ebben a fejezetben olyan, a kutatásom során megvizsgált esetek összehasonlító elemzéseit közlöm, melyek a szakirodalom alapján egymással szorosabb kapcsolatba hozhatók, illetve közöttük genealógiai kapcsolat sejthető. Véleményem szerint a pontos geometrián alapuló elemzés eredményei e kérdéshez fontos adalékul szolgálhatnak, mivel adott esetekben az építőműhely vagy mester azonosságára vonatkozó írott dokumentumok hiányában az alkalmazott építéstechnika részletei árulkodók lehetnek egy-egy ilyen feltételezett kapcsolat értékelésekor. Természetesen, mivel az egzakt geometriai leírásból levont következtetések, ahogy dolgozatomban többször hangsúlyoztam, nem tekinthetők kizárólagosnak, az ebből való továbblépés a genealógiai kapcsolatok irányába szintén nem fogadható el minden kétséget kizáró, döntő bizonyítékként, ám árnyalhatja az eddig ismert képet.

Úgy gondolom, hogy a bordarajzolat a hálóboltozatoknak az a geometriai tulajdonsága, melyet a legkönnyebben másolhatott le az eredeti boltozat építőitől független személy, hiszen azt minden mérőeszköz nélkül, a templom padlószintjén állva is le lehet skiccelni. Ám a globális geometria “lemásolása”, vagy akár csak az eredetivel azonos mögöttes geometria alkalmazása sokkal részletesebb ismereteket követel meg a boltozatról. Ilyen ismeretek “utazhattak” a mesterrel vagy a műhely tagjaival, ám a boltozatot csak messzebről szemlélő mester “másolata” az eredeti boltozat geometriai részleteit csak kis eséllyel tükrözi. Ezért úgy vélem, hogy a boltozatok genealógiai kapcsolatainak vizsgálata esetén elengedhetetlen a rajzolaton túl a globális, háromdimenziós geometria megismerése, értelmezése és összehasonlítása.

A dolgozatban ismertetett módszerek és elméletek boltozatgenealógiai vizsgálatokra való alkalmazhatóságának példaként e fejezetben négy, a szakirodalom alapján egymáshoz kapcsolható épülepár vagy épületcsoport esetében mutatok be összehasonlító elemzést, melyek kiértékelése az ilyen vizsgálatokban rejlő lehetőségek mércéjeként is szolgálhat.

4.2.1 A nyírbátori templomboltozat és a szeged-alsóvárosi hajóboltozat

A nyírbátori Szent György-templom boltozatának és a szeged-alsóvárosi hajóboltozatnak a szoros kapcsolata számos alkalommal felmerült a szakirodalomban. Általában azonos

építőműhely munkájának tartják a két szerkezetet¹⁶², melynek a visegrádi királyi építkezéseknél, valamint a kolozsvári Farkas utcai templom boltozatainak építésénél is szerepe lehetett. Esetenként az építőmester, bizonyos János mester, személyének azonossága is felvetődött.¹⁶³ Ugyanakkor a szakirodalomban emlegetett kapcsolatot nem írott források, hanem csupán a boltozatok hasonlósága, vagy “építészettörténeti elemzés”¹⁶⁴ támasztja alá. A szeged-alsóvárosi hajóboltozat esetén, mint azt a 3. fejezetben többször említettem, felmerült, hogy ál-hálóboltozatról lehet szó¹⁶⁵, ám a nyírbátori boltozat esetében már Papp Szilárd is kiemelte, hogy a bolthát felől látszanak a süvegek önálló domborulatai¹⁶⁶, így ez a boltozat valódi hálóboltozat.

A két boltozat közeli kapcsolatát a szakirodalomban elsősorban a bordahálók rajzolatának hasonlóságából vezetik le, mindazonáltal már e forrásokban is számos esetben kiemelik, hogy a szeged-alsóvárosi hajóboltozat bordahálója tartalmaz a hosszfalakkal párhuzamos bordákat¹⁶⁷, melyek a nyírbátori hajóboltozat rajzolatában nem jelennek meg. Ugyanakkor a szeged-alsóvárosi boltozat esetén sem helytálló a Császár László által megfogalmazott vélemény, miszerint e bordák nem bírhatnak szerkezeti szereppel.¹⁶⁸ A pontfelhő alapján is egyértelműen látszik, hogy ezek az elemek nem teljesen egyenesek, hanem enyhe ívvel boltöveket formálnak, így önhordásra alkalmasak, és a süvegek építése során is alkalmasak lehettek “benmaradó zsaluzatnak”.

A mellékletben (Melléklet 5.2.2.) részletesen ismertettem a szeged-alsóvárosi hajóboltozat bordaháló-süvegfelület kapcsolatának geometriai jellegét, valamint a süvegfelület és a bordaháló globális geometriájának sajátosságait. Ezek alapján arra jutottam, hogy a szegedi hajó esetén valódi hálóboltozatról beszélhetünk, tehát a bordaháló építése megelőzte a süvegek építését. Noha a süvegfelület alsó része épülhetett dongaboltozat jelleggel, a záradékhoz közeli

¹⁶² Nagy 1944, 92.

¹⁶³ Bálint 1966, 13; Levárdy 1980, 7.; A nyírbátori és a kolozsvári Farkas utcai templomok kapcsán is felmerült János mester neve (Entz–Szalontai 1959. 47.); kritikai megjegyzések mellett Papp Szilárd (2005, 11–12.) is idézi az elméletet.

¹⁶⁴ Császár 1987-88a, 153.

¹⁶⁵ Harsányi 2001, 302; Harsányi 2005, 14.

¹⁶⁶ Papp 2005, 199.

¹⁶⁷ Császár 2002, 155; Szőke 2005, 879; Szőke 2009a, 449.

¹⁶⁸ Császár 2002, 159.

részeket nagy valószínűséggel a bordahálóra mint bennmaradó zsaluzatra, teljes felületű alázsaluzásos süvegépítési technikával falzták. A süvegfelület jellege a felső részen is egyértelműen lineáris.

Amint a mellékletben (Melléklet 5.2.2.) részletesen elemeztem, a nyírbátori templom boltozata egyértelműen valódi hálóboltozat, mely süvegeit valószínűleg kézből falzták, teljes felületű zsaluzat nélkül. A süvegfelület globális jellege ez esetben egyértelműen nem lineáris, noha nem is tisztán centralizáló, hanem a travéknál kisebb, önmagukban centralizáló egységekből áll, mely a sűrűbordás kialakítás következménye lehet. Összességében tehát azt állapítottam meg, hogy a két vizsgált boltozat a süvegfelületeik globális jellege és feltételezhető építéstechnikája tekintetében is határozottan különböző karaktert mutat.

A szeged-alsóvárosi hajóboltozat bordahálójának globális geometriáját tekintve arra jutottam, hogy elméleti szerkesztéstechnika szempontjából az alaprajzból kiinduló szerkesztések csoportjába sorolható, hiszen a bordacsomópontok térbeli pozíciójának meghatározásakor a csomópontok alaprajzi képét vetítjük fel egy szegmensíves “donga” felületre. A gyakorlatban, ahogy a mellékletben (Melléklet 5.2.3.) részletesen kifejtettem, ez valószínűleg egy teljes felületű zsaluzatra felépült bordahálót jelenthetett.

Ezzel szemben a nyírbátori templomboltozat bordahálója az egymástól függetlenül szerkeszthető csomóponti koordináták esetének tulajdonságait mutatja. (Melléklet 6.4.) Noha gyakorlati szempontok figyelembevétel ezekben az esetekben is valószínűnek tartom azt, hogy az építkezés során a kitűzés alapsíkja az alaprajzi sík volt, ez pusztán geometriai alapon nem bizonyítható. Ebben az esetben a csomópontok magassági pozíciói nem határozhatók meg szabályos felületre vetítés által. A magassági koordináták az alaprajzot meghatározó két koordináta-hoz hasonlóan egy (az alaprajzival azonos) szerkesztőháló segítségével adódnak. Tehát a bordaháló globális geometriája kapcsán megint csak arra a megállapításra jutottam, hogy a két szerkezet a belső logikájuk és kialakításuk tekintetében nem sok hasonlóságot mutat.

A bordák egyedi geometriája tekintetében mindkét szerkezet esetén elmondható, hogy a bordahálókat alkotó bordák görbületi sugarai egységesnek tekinthetők, tehát a vezérgörbe elv alkalmazása mindkét szerkezet esetében elképzelhető, mely közös vonásuk lehet.

Összességében a két szerkezet pontos geometria alapján végzett összehasonlító elemzése a boltozatok süvegfelületének és bordahálójának geometriája, és így az ezekből kikövetkeztethető szerkesztés- és építéstechnikai megoldások tekintetében is túlnyomórészt különbségekre mutatott rá. A hasonló vonások (mint a vezérgörbe elv alkalmazása) inkább az

általánosabban elterjedt gyakorlatok körébe sorolhatók, míg a technológiai részletek határozottan különböznek. Mindezek alapján úgy gondolom, hogy a szeged-alsóvárosi hajóboltozat és a nyírbátori templomboltozat kapcsolatának tekintetében ezek az új eredmények inkább sokat idézett kapcsolat ellen jelentenek új érveket, mintsem mellette.¹⁶⁹

4.2.2 A szászbogácsi hajóboltozat és a segesvári Hegyi-templom északi mellékhajójának boltozata

A segesvári Hegyi-templom gótikus építési periódusa, mely Jakob Kendlinger nevéhez köthető, a szakirodalom szerint a landshuti építőműhelyhez közvetlenül kapcsolható.¹⁷⁰ A téglabordás boltozatok építésének módja feltehetőleg ezután terjedt el Segesvár és Medgyes székek területén¹⁷¹, ahogy több mester megismerhette a technikát a nagyobb központok építkezésein. Az, hogy egyes épületek egymással való kapcsolatának fokát a boltozataik – különösen azok rajzolata – alapján ítélik meg, elterjedt módszertani megközelítés a szakirodalomban.¹⁷² Egyes kutatók úgy gondolták, hogy a dél-erdélyi terület téglabordás boltozatai esetén a központi, városi templomok és a falusi társaik közötti fő különbség abban keresendő, hogy míg a nívósabb, városi építkezéseken valódi hálóboltozatokat alkalmaztak, addig a kisebb építkezéseken – ezt imitálendő – csak ál-hálóboltozatok készültek.¹⁷³ A segesvári Hegyi-templom, és a szászbogácsi erődtemplom feltételezhető kapcsolata így egyrészt a közel azonos építési időben és a központ-periféria jellegű viszonyban, másrészt pedig a segesvári északi mellékhajó és a szászbogácsi hajóboltozat rajzolatainak azonosságában¹⁷⁴ határozható meg.

A mellékletben (Melléklet 1. és 2.2.) részletesen ismertettem a szászbogácsi hajóboltozat, illetve a segesvári Hegyi-templom északi mellékhajó-boltozatának geometriai leírását és az ebből levont szerkesztés- és építéstechnikára vonatkozó következtetéseimet. Vizsgálataim alapján mindkét boltozat valódi hálóboltozat. A szászbogácsi boltozat süvegfelületének

¹⁶⁹ Jobbik – Krähling 2023a.

¹⁷⁰ Fabini–Fabini 1985, 83; Szőke 2012, 204.

¹⁷¹ Szőke 2012, 204.

¹⁷² Fabini 1999; Guzsik 2003; Szőke 2012.

¹⁷³ Roth 1905, 36.

¹⁷⁴ Dolgozatomban a bordaháló rajzolatok azonosságát úgy definiálom, hogy egy adott bordaháló adott boltozati egységének minden bordacsomópontja és bordája egyértelműen és kölcsönösen megfeleltethető a vele összehasonlított boltozat adott egységének csomópontjaival és bordáival.

globális jellegét tekintve lineáris, és feltehetőleg teljes felületű zsaluzat nélkül, kézből falazva készültek a süvegei. A segesvári északi mellékhajó boltozata esetén a boltozat alsó részén a süvegfelület centralizáló jellegű, az építéstechnika valószínűleg a teljes felületű zsaluzat nélküli, kézből falazott megoldás volt. A boltozat felső zónájában, a záradék környezetében lévő süvegekben viszont lineáris jelleg látszik, és alázsaluzott építésmód tűnik valószínűnek. Tehát a kézből falazott süvegépítés technika mindkét szerkezet esetében megjelenik, noha a segesvári példa esetén ez kiegészül a teljes felületű zsaluzat alkalmazásával készült süvegekkel. A süvegfelületek globális jellege eltérő.

A bordaháló globális geometriáját tekintve azonban mindkét épület esetében a keresztmetszet irányú síkból induló szerkesztéstechnika alkalmazását valószínűsítettem. Itt az egyezés pusztán tényén túl annak jelentősége sem hanyagolható el, hogy e technika alkalmazása – feltehetőleg bonyolultabb szerkeszthetősége okán – kevésbé tűnik elterjedtnek, mint az alaprajzból induló (vagy a nagyfokú szabályosságot mutató, és így elméletben bármelyik síkról indítható) szerkesztéstechnikák. Így tehát ennek a technikának az alkalmazása erős érv lehet a két épület kapcsolata mellett. Ugyanakkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a körülményt, hogy a technika alkalmazásának feltételezett oka, a szabálytalan alaprajzi kontúrral rendelkező boltozandó tér mindkét esetben korábbi periódusokból adott volt, mely a technológia azonosságát indokolhatja kevésbé direkt épületkapcsolat esetében is.

A két esetben feltételezhető szerkesztés- és építéstechnika részleteit tekintve hasonlóságként határozhatjuk meg azt, hogy a keresztmetszet-irányban azonosított szabályos szerkesztés kvadratúrahálón, és annak továbbosztásán alapul. Ugyanakkor a szászbogácsi példa esetén e kvadratúra-rendszerben a záradék kiszerkesztéséhez megjelenik a trianguláció elve is, mely Segesvár esetén nem volt azonosítható. Szintén eltérésként értékelhetők az elméletileg rekonstruált építéstechnika részleteinek tekintetében a 4.1. alfejezetben (és Melléklet 1.4.3.; 2.2.3.3.) tárgyalt feltételezett segédszerkezeti rendszerek kialakítása. A szászbogácsi boltozat esetén a segédszerkezet elsősorban hosszanti értelemben meghatározott, vagyis a szabályosan szerkesztett keresztmetszet egy síkon, a diadalív falának nyugati síkjában jelenik meg, és onnan a hosszfalak keleti végeinek irányával meghatározva “vetül ki” a boltozat hossza mentén. Ezzel szemben a segesvári boltozat esetében valószínűbbnek tartom azt, hogy a szerkesztett keresztmetszetek a boltozat hossza mentén többször megjelennek – mely fizikai formában a segédszerkezet kialakítása által lehetett valóulhatott meg, tehát egyfajta szakaszoló jellegről beszélhetünk. Viszont miután e hosszanti illetve szakaszoló segédszerkezeti rendszerekkel a bordacsomópontok keresztirányú és magassági koordinátáit meghatározták, a hosszirányú

koordináták kitűzéséhez mindkét boltozat esetében a típusonként nagyon egyenletesnek bizonyuló borda-húrhossz értékek használatát tartom valószínűnek. A vezérgörbe elv alkalmazása egyik boltozat esetén sem bizonyítható, noha a szászbogácsi példa esetén definiálhatók olyan, a bordák bordahálóban betöltött szerepének megfeleltethető csoportok, melyeken belül egységesek a görbületek. Ezen kívül mindkét boltozat téglabordás, mely magában hordozza a lehetőséget, hogy a bordák megformálásakor kialakított görbület jelentősen deformálódhatott az égetés során (mint a 3.3.2.1. alfejezetben leírtam), így az összehasonlításnak e szempontját érdemesnek tartom kisebb súllyal figyelembe venni.

Az összehasonlító elemzés eredményének értékeléseként az bizonyosan megállapítható, hogy a szászbogácsi hajóboltozat és a segesvári Hegyi-templom északi mellékhajójának boltozata a bordarajzolat azonosságán túl is olyan jegyekkel bír, melyek geometriai és szerkesztéstechnikai kapcsolatok felé mutathatnak. Általános bordaháló-geometriájukat tekintve mindkét szerkezet a ritkának tűnő, keresztmetszet irányú síkból kiinduló szerkesztések példája lehet, mely talán a valós kapcsolat fennállásának lehetősége felé mutat, noha a szerkesztéstechnika részletei csak részben egyeznek (húrhosszértékek használata). A süvegfelület jellegét és építéstechnikáját tekintve a kapcsolat lehetősége kevésbé tűnik egyértelműnek, noha a különbség indokolható lehet a boltozatok globális geometriájával, vagyis a süvegfelület meredekségével.¹⁷⁵

4.2.3 A landshuti Szent Márton hajóboltozata és a dél-erdélyi téglabordás hálóboltozatok

Ahogy arra a 4.2.2. alfejezetben is utaltam, a dél-erdélyi téglabordás boltozatok származási helyének gyakran Landshutot adják meg, majd e szerkezetek a segesvári Hegyi-templomban működő műhelyen keresztül terjedtek el Segesvár és Medgyes székek területén.¹⁷⁶ A segesvári Hegyi-templom és a medgyesi erődtemplom e terület kiemelkedő építészeti emlékeit jelentik a korszakban.

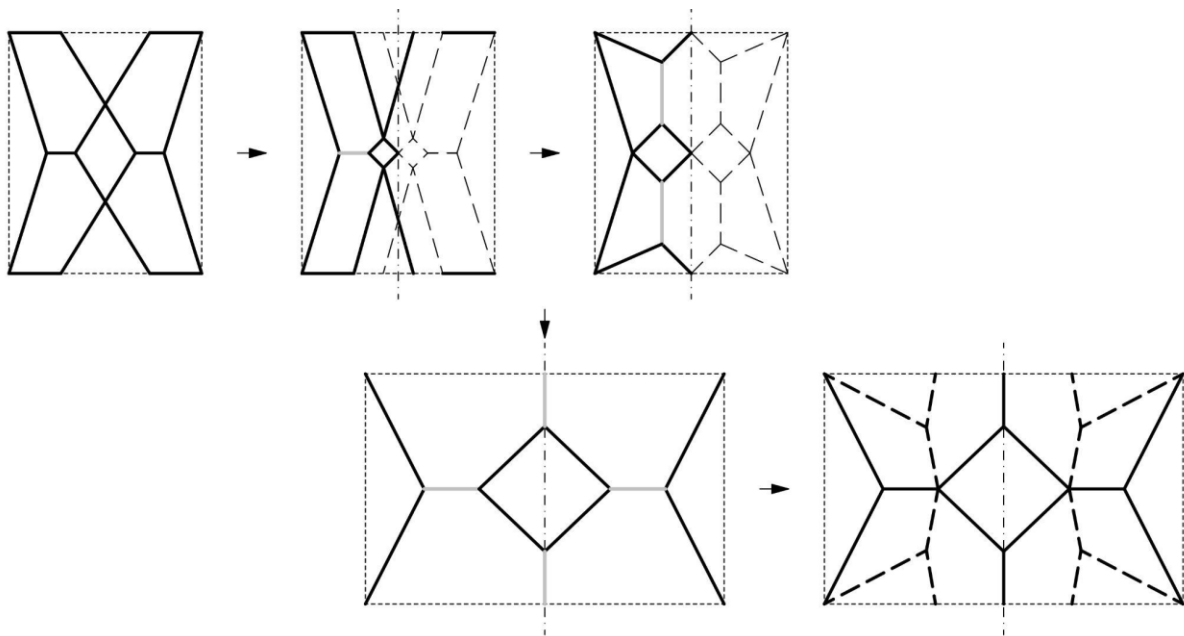
Landshutban ezidőtájt több nagy templomépítés is zajlott. Ezek közül a Szt. Jodok-templom – mely boltozatának rajzolata alapján is köthető a segesvári templomhoz¹⁷⁷ – munkálataiban vett részt Hans Stethaimer, aki az általam megvizsgált Szent Márton-templomon is dolgozott, így a szakirodalom alapján nem érdektelen a geometria-alapú összehasonlító elemzés elvégzése a

¹⁷⁵ Jobbik – Krähling 2023b.

¹⁷⁶ Szöke 2012, 204.; Ugyanakkor a medgyesi erődtemplom kapcsán a nagyszebeni műhelyen keresztül a bécsi műhely hatásait is említi a szakirodalom (Fabini–Fabini 1985, 83.)

¹⁷⁷ Szöke 2012, 204.

landshuti, segesvári és medgyesi példák esetében. Ezen kívül a Szent Márton-templom hajóboltozata és a medgyesi szentély- és hajóboltozatok esetében a bordarajzolat egyezése is fennáll. A segesvári Hegyi-templom északi hajóboltozatának bordarajzolata is közel áll ehhez a rajzolat-típushoz, a rendszer mindössze a fiókokat övező bordáktól felső csomópontjából induló harántirányú bordákkal egészül ki. A főhajó és a déli mellékhajó rajzolatai “származtathatók” az északi mellékhajóból az alaprajzi mintázat tükrözésével. (4-5. ábra) Bár a landshuti és medgyesi “alap” rajzolat egyszerű, és a korszakban általánosnak mondható, a fenti megfontolásokkal együtt a boltozatok vizsgálata véleményem szerint indokolt.



4-5. ábra Elméleti kapcsolatrendszer a három hajóboltozat rajzolata között a segesvári Hegyi-templomban

A landshuti hajóboltozat – melynek pontos geometriai leírását, valamint szerkesztés- és építéstechnikai elemzését a mellékletben (Melléklet 4.) közlöm – valódi hálóboltozat, csakúgy, mint a medgyesi hajó- és szentélyboltozatok (Melléklet 3.2; 3.3.) és a segesvári hajóboltozatok (Melléklet 2.2; 2.3.; 2.4.). Landshut esetében a süvegfelület globális jellege lineáris, a süvegek feltehetően teljes felületű zsaluzatra épültek. A boltozat nagyon szabályos kialakítású. A süvegfelület jellemzői tekintetében ezzel azonos a medgyesi szentélyboltozat kialakítása is, noha szabálytalanabb összképpel, különösen a déli oldalon. A medgyesi hajóboltozat süvegfelülete esetében a lineáris és centralizáló jelleg a boltozat hosszanti tengelye mentén vált (ld. még 3.1.5. alfejezet; Melléklet 3.2.2.), ám ez a jellegváltozás egyszeri és esetleges (szemben például a csillagháló-boltozatok esetében megjelenő szándékolt kialakítással). A valószínű építéstechnika ebben az esetben is a teljes felületű zsaluzatok alkalmazása. Összességében tehát a süvegfelületek geometriája tekintetében a landshuti és medgyesi példák

alapvetően egyezőnek mondhatók, a medgyesi hajóboltozat keleti két travét érintő jellegváltásától eltekintve. Ugyanakkor a kivitelezés minősége és a boltozat geometriai precizitása a medgyesi példák esetén nem közelíti meg a landshuti hajóboltozatot.

A segesvári Hegyi-templom hajóboltozatai esetében a boltozatok alsó zónájában a süvegfelület globális jellege centralizáló, és a süvegek valószínűleg teljes felületű zsaluzat nélkül, kézből falazva készültek el, míg a záradékvonalhoz közvetlenül kapcsolódó felső zónában lineáris jellegű a boltozat és a teljes felületű zsaluzatra épülhettek a süvegek. (Ez esetben a két jelleg és technika közötti váltás tervezettnek tűnik, és jól definiálható az a bordák által meghatározott vonal, mely a két zónát elválasztja egymástól.) A jellegek és technológiák kombinált használata miatt a segesvári boltozatok nem rokoníthatók a landshuti hajóboltozattal. Ugyanakkor a süvegfelületet tekintve Segesvár esetében a medgyesinél jóval szabályosabb kép bontakozik ki, még ha a bordaháló alaprajzának szabálytalansága miatt ez a rendezettség első ránézésre kevésbé tűnik is egyértelműnek.

A bordaháló globális geometriáját tekintve a landshuti Szent Márton-templom hajóboltozata megint csak nagyfokú szabályosságot mutat. Valószínűleg az alaprajzi síkból indult a szerkesztés, noha elméletileg a nagyon szabályos geometria okán a szerkesztés bármely fő síkból indulhatott volna. A magassági koordinátákat legegyszerűbben az "átlókra" (itt: adott vállpontot a szomszédos travé átellenes oldali középpontjával összekötő vonalak) írható függőleges síkú félkörökre való vetítéssel szerkeszthették ki. (ld. még Melléklet 4.4.) Ugyan a medgyesi szentélyboltozat esetében a bordarajzolat a landshutival egyezik, a bordacsomópontok alaprajzi képe nem illeszkedik átlókra és a csomópontok magassági pozíciója sem adódik függőleges síkú ívekre való vetítéssel, noha az alaprajz, csakúgy mint a hosszmetset és keresztmetset irányú vetületek, szabályosan szerkeszthető. A bordarajzolat a medgyesi hajóboltozat esetében is szabályosan szerkeszthető az alaprajzi vetületen a keleti négy boltozati egység esetében.¹⁷⁸ A bordaháló csomópontjainak mindhárom koordinátája egymástól függetlenül szerkeszthető, ám a magassági koordináták – bár szabályszerűsíthető módon – változnak a boltozat hossz tengelye mentén, így itt is az alaprajzból induló szerkesztést tartom valószínűnek. Összességében tehát a bordahálók globális geometriáját tekintve az bordarajzolat azonosságán és az elméletileg bármely fő síkból indítható, de valószínűleg az alaprajzi síkból indított szerkesztésmódon túl nem állapítható meg kapcsolat. Az azonosnak tekinthető tulajdonságok esetében ki kell emelni, hogy mindegyik olyan jellemző, mely

¹⁷⁸ A nyugati két egység geometriáját látszólag nagyban befolyásolja a nyugati torony pozíciója [ld. még Melléklet 3.2.3.], emiatt az összehasonlító elemzéshez a négy keleti boltozati egységet veszem alapul.

gyakorinak tűnik a korszak hálóboltozatai között, így messzemenő következtetések nem vonhatók le belőlük.

A segesvári hajóboltozatok bordahálói a keresztmetszet irányú síkból indított szerkesztéstechnika példáit jelentették, mely módszer alkalmazásának oka feltehetően a korábbi periódusokból adott, szabálytalan alaprajzú boltozandó tér volt. (ld. még Melléklet 2.2.3.3.; 2.3.3.3.; 2.4.3.3.) Mint ilyen, mind szerkesztéstechnika, mind pedig az az alapján feltételezhető építéstechnika tekintetében eltér a Landshut esetén rekonstruálható szerkesztés- és építésmódoktól.

Összességében tehát e három épület és a dolgozatomban megvizsgált öt boltozat tekintetében kevés valós szerkesztés- és építéstechnikai összefüggés azonosítható. Természetesen ez nem zárja ki a boltozatok genealógiai összefüggésének valós voltát, hiszen a boltozandó tér adottságaihoz való alkalmazkodás esetenként más-más szerkesztési és építési stratégiát követelhetett meg, mégis rávilágít arra, hogy pusztán a bordaháló rajzolatának azonossága (vagy a rajzolatok egymásból való levezethetőségének lehetősége) csak nagyon kis részét jelenti a boltozatok közötti geometriai összefüggéseknek.¹⁷⁹

4.2.4 A siklói és az andocsi szentélyboltozatok

A siklói várkapolna szentélyboltozatának és az andocsi bazilika szentélyboltozatának kapcsolata számos alkalommal felmerült a szakirodalomban. E kapcsolat feltételezésének elsődleges oka az, hogy mindkét boltozat a magyarországi térgörbe bordás boltozatok ritka példáját jelenti. Ez a forma a sziléziai¹⁸⁰ vagy a szász¹⁸¹ építészetből eredeztethető, és feltehetően késői, 16. századi eredetre utalhat¹⁸². Magyarországon e megoldás legkifinomultabb példájának az andocsi boltozat tekinthető¹⁸³, melynek okát az eddigi kutatás a siklói boltozatnál “tisztább kompozíciójában” határozta meg.¹⁸⁴ A két boltozat összehasonlító elemzése gyakori párhuzamba állításuk miatt lehet indokolt.

¹⁷⁹ Jobbik 2025a.

¹⁸⁰ Császár 1987-88a., 96.

¹⁸¹ Buzás 1999, 144.

¹⁸² Szőke 2009b, 113.

¹⁸³ Horler 1979, 38.

¹⁸⁴ Császár 1988, 411.

A siklósi várkapolna szentélyboltozata (Melléklet 8.) és az andocsi szentélyboltozat (Melléklet 7.) mindegyikéről elmondható, hogy valódi hálóboltozatok. Ám míg az andocsi példa esetén a boltozat alsó részén a süvegfelület globális jellege centralizáló és felső részén, a záradék környéki mezőkben lineáris, addig a siklósi boltozat esetén a centralizáló egységek között a vállakhoz kapcsolódóan jelennek meg lineáris egységek. Andocson a centralizáló, alsó részek esetén elképzelhető a süvegek kézből falazott építése, a lineáris, záradékhoz közeli részeken viszont az alázsaluzott építésmód valószínű. Siklós esetében a teljes boltozat zsaluzattal építettnek látszik a süvegek metszeteinek jellege alapján. Szintén eltérő a két boltozat esetében a fiókok kialakításának módja: míg Andocson ezek minden más vállból induló mezővel azonos módon készülhettek, addig Siklóson inkább csúcsíves donga jellegűek. Így összességében a süvegfelületek globális geometriája és feltételezhető építésmódja tekintetében a két boltozat nem mutat szoros kapcsolatra utaló hasonlóságokat.

A bordahálójuk globális geometriáját tekintve mindkét boltozat elég szabályos ahhoz, hogy a szerkesztésük elméletileg bármely síkból kiindulhatott volna, noha Andocs esetében a szerkesztés alaprajzi síkból való indítása felé a praktikumon túl egyéb geometriai jegyek is utalnak. (Melléklet 7.4.3.)

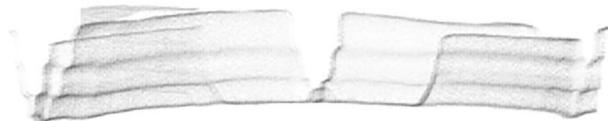
E két boltozat esetében az összehasonlításból nem hagyhatom ki a térgörbe bordák részletesebb elemzését sem. A siklósi példa vizsgálata során azt állapítottam meg, hogy az alaprajzukban íves bordák, melyek közvetlen a záradék mellett jelennek meg a bordahálóban, oldalnézetükben nem íveltek, vagyis nem valódi térgörbe bordák. E bordák oldalról egyenesek, alsó felületük sokszor károsodott, feltehetőleg utólagos alakításuk miatt. Ezzel szemben az andocsi boltozat bordái valódi térgörbe bordáknak tekinthetők, mivel mind alaprajzukban, mind oldalnézetükben görbülettel rendelkeznek. (4-6.ab. ábra) Így tehát, a szakirodalomban közölt meglátással összhangban, a geometria e részlete tekintetében valóban az andocsi szentélyboltozat tűnik a "fejlettebb" szerkezetnek. Ugyanakkor mindenképp ki kell emelnem, hogy a boltozatok geometriájának összehasonlító elemzése során sem merült fel olyan tulajdonság, mely az alaprajzilag görbült bordák meglétéén túl a két szerkezet közelebbi kapcsolatára utalhatna. Ennélfogva azt sem tartom elképzelhetetlennek, hogy a két helyszínen az alaprajzilag görbült bordák alkalmazását magával hozó építészeti hatás külön útvonalon érkezett.¹⁸⁵

¹⁸⁵ Jobbik – Daragó

a)



b)



4-6. ábra Tégörbe bordák oldalnézete. a. Andocs, szentélyboltozat b. Siklós, várkapolna, szentélyboltozat

4.3 A kutatás eredményeinek használhatósága hálóboltozatok elméleti rekonstrukciójánál

A kutatásom során megvizsgált esetek és a szerkesztés- és építéstechnikai jellemzőikkel azonosított hálóboltozat típusok tanulságai alapján a hálóboltozatok geometriailag pontos elméleti rekonstrukciójának lehetősége kapcsán is levontam következtetéseket. Ahogy a vizsgálatokból kitűnt, a téma szakirodalmában általánosan és széleskörűen elfogadott hálóboltozat-szerkesztési elveken túl a megvizsgált emlékek között is voltak olyanok, melyek korábban nem azonosított módokon készülhettek. A szakirodalmi, szabályos peremfeltételeket alapul vevő módszerekhez képest számos esetben tapasztaltam eltéréseket, melyek mértéke a lokális hibahelyektől a teljes boltozat geometriájára ható, szándékos megoldásokig terjedt.

Ahogy a 3.3.1.2. alfejezetben kitértem rá, hogy a “tökéletesen” pontos geometriához képest egyes esetekben olyan lokális eltéréseket azonosítottam, melyeket nem magyaráznak egyértelműen a boltozatszerkesztés kezdetekor fennálló peremfeltételek. Az alaprajzban azonosítható lokális kitűzési hibák példáját jelenthetik az andocsi és siklói szentélyboltozatok.¹⁸⁶ Utóbbi esetében, noha a boltozandó tér kontúrja szabályos, így abba szabályos bordaháló-alaprajzot is egyszerűen lehetne szerkeszteni, a nyugati boltszakasz déli oldali csomópontjainak mind a hossz-, mind a keresztmetszet irányú koordinátái “eltolódtak” az egyébként visszaszerkeszthető szabályos rendszerhez képest. (Melléklet 8.4.1.1.) Hasonló a helyzet Andocson is: a boltozandó tér kontúrja szabályos, ám a hosszirányú koordinátákat

¹⁸⁶ Jobbik – Daragó

meghatározó vonalak szögeltérést mutatnak a boltozat keresztirányához képest, tehát nem merőlegesek a hosszfalakra vagy a záradékvonalra. (Melléklet 7.4.1.1.) Szintén a kiindulási kötöttségekkel nehezen magyarázható eltérések jelennek meg a szeged-alsóvárosi szentélyboltozat bordacsomópontjainak keresztirányú koordinátáit meghatározó hosszanti egyenesek esetében azonosított kétféle irány tekintetében is. (Melléklet 5.3.3.1.1.) E jelenség tárgykörébe sorolható a szeged-alsóvárosi sekrestyeboltozat északi és déli oldalán a bordacsomópontok vertikális koordinátáinak eltérése, mely nem érinti a vállakat, csak a váll és a záradék közé eső elemeket.¹⁸⁷ (Melléklet 5.4.3.1.)

Mivel ezekre az enyhe geometriai szabálytalanságokra nem adódott olyan koncepcionális magyarázat, mint például a szászbogácsi templomhajó bordacsomópontjainak keresztirányú koordinátáit meghatározó egyenesek alaprajzban változó irányainak esetében (Melléklet 1.4.1.), így feltételezésem szerint ezek inkább a kitűzési hiba kategóriájába eshetnek. Ilyen hibákat a már nem álló boltozatok elméleti rekonstrukcióinak visszaszerkesztésekor nincs oka feltételezni a kutatónak, az itt felsorolt esetek tanúsága szerint viszont előfordulhattak.

Az épületgeometriából nem következő szerkesztési hibák másik csoportját képezhetik azok az esetek, amikor a teljes boltozat egységesen lejt valamilyen irányba. Ezt a jelenséget a szászbogácsi templomhajó boltozata szépen példázza: A hosszmeteszeti irányú vetületeken szemlélve kiderül, hogy a bordacsomópontok magassági koordinátáit meghatározó összes elméleti egyenes azonos mértékben enyhén nyugat felé lejt. Véleményem szerint a jelenség magyarázata az építés közbeni segédszerkezetek pozicionálásának hibája lehet, tehát valószínűnek tartom, hogy a teljes munkaszint lejtett, mely az összes további segédszerkezet térbeli helyzetét befolyásolta.¹⁸⁸ (Melléklet 1.4.) A szászbogácsi példához nagyon hasonló módon a szeged-alsóvárosi hajóboltozat esetén is azt találtam, hogy teljes rendszer enyhén nyugat felé lejt (Melléklet 5.2.3), mely magyarázata – noha eltérő jellegű segédszerkezetek alkalmazása mellett (ld. 4.1. fejezet) – azonos lehet a szászbogáccsal.

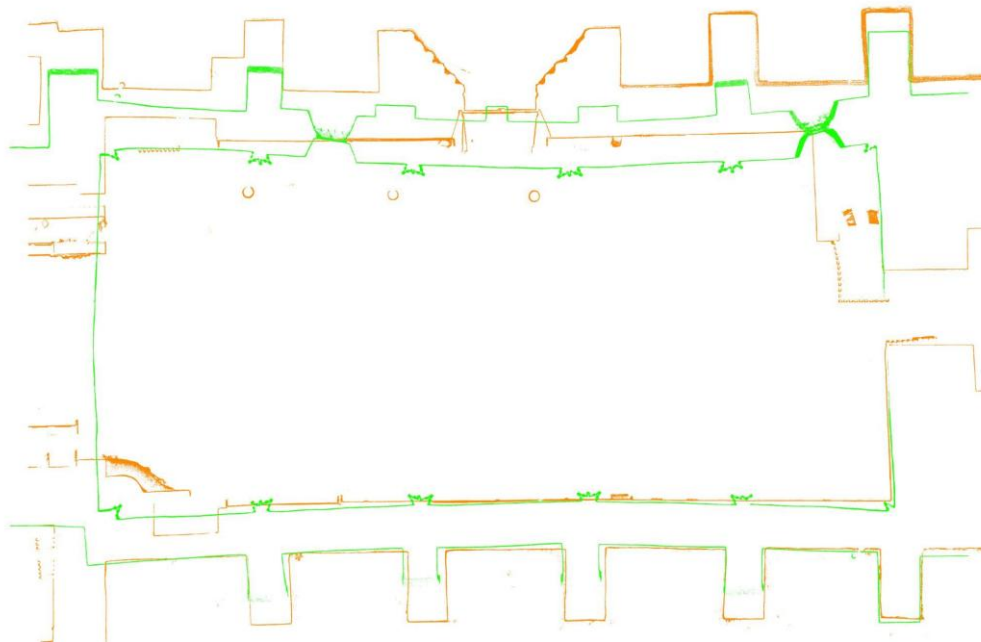
A geometriailag hiteles elméleti rekonstrukciók lehetősége kapcsán nem csak a kitűzési hibák kérdéskörét kell tárgyalnom. Dolgozatomban több olyan elméleti-módszertani megközelítést is bemutatok, melyek alkalmazásával a hálóboltozatok szerkesztésmódjaira a korábban vélteknél sokkal több lehetőség adódik. Ezek közül a legizgalmasabb kérdés az alaprajzi síkból induló szerkesztéstechnikán túlmutató módszerek tárgyalása. A keresztmeteszeti irányú síkból

¹⁸⁷ Jobbik – Budaházi 2024

¹⁸⁸ Jobbik – Krähling 2022a

induló szerkesztéstechnika, melyet a szászbogácsi hajóboltozat¹⁸⁹ (3.4. fejezet, Melléklet 1.) és a segesvári Hegyi-templom három hajóboltozata¹⁹⁰ (Melléklet 2.2.; 2.3.; 2.4.) esetében is valószínűsíteni tudtam, alapvetően érinti az elméleti rekonstrukciók kérdését. A szakirodalmi források alapvetésként elfogadott, alaprajzból induló módszerein túl ugyanis ezen eredmények alapján már a rekonstrukció kezdeti lépésekor több lehetőséggel kell számolnunk. A keresztmetszet irányú síkból induló szerkesztésmód eddig azonosított példái alapján az a hipotézisem, hogy a módszer alkalmazásának indoka valószínűleg a boltozandó tér előre adott, szabálytalan kontúrja lehetett, ám ennek érdemleges bizonyításához számos további eset vizsgálata szükséges. Ezen kívül jogosan merülhet fel a kérdés, hogy a térkontúr milyen mértékű szabálytalansága az, ahonnan e módszer alkalmazását fontolóra kell vennünk.

További adalék a már nem álló emlékek boltozatai kapcsán, hogy amennyiben a falak sem állnak már teljes magasságig, az esetleges egykori deformációikkal sem számolhatunk: például a szászbogácsi hajó esetében a kontúr a padlósínt közelében sokkal szabályosabb, mint a boltvállak magasságában.¹⁹¹ (4-7. ábra)



4-7. ábra A szászbogácsi templom falainak vízszintes metszetei. Narancssárga: padlósínt, zöld: boltvállak szintjén

¹⁸⁹ Jobbik – Krähling 2022a; Jobbik – Krähling 2024a

¹⁹⁰ Jobbik – Krähling 2023b; Jobbik – Krähling 2024a; Jobbik – Krähling 2024b

¹⁹¹ Jobbik – Krähling 2022a

Hasonlóképp tervezett, ám az álló emlék nélkül már kevésbé kikövetkeztethető szerkesztési döntés a segesvári Hegyi-templom déli mellékhajója által reprezentált eset, amikor a hajó keleti és nyugati oldalának szélessége számottevően eltér egymástól. Ennek kiküszöbölésére a keleti és a nyugati oldalon eltérő, ám mindkét esetben szabályosan szerkeszthető keresztmetszet irányú vetületi képpel indíthatták a szerkesztést, melyet a két rész találkozásánál kissé esetleges irányokban futó bordákkal kötöttek össze. (Melléklet 2.4.)

A bordahálók globális geometriájának hiteles elméleti rekonstrukciója kapcsán az eddig felsorolt különböző kiindulási lehetőségek mérlegeléséhez társul az egy-egy vetületi kép vagy bordacsomópont-koordináta megszerkesztéséhez használható számtalan szerkesztési elv lehetősége – így az elképzelhető kombinációk száma igen hamar megnő, még akkor is, ha feltételezzük, hogy a bordarajzolat ismert (ld. még később).

A korábban véltnél nagyobb variációs lehetőség valószínűsíthető nem csak a bordaháló, hanem a süvegfelületek geometriája kapcsán is. Rekonstrukciók készítésekor a süvegfelületek jellege szempontjából szinte semilyen támpontja nem lehet a kutatóknak. A lineáris és centralizáló jelleg, valamint ezek tervezett kombinációinak (akár a boltozat függőleges, akár a hossziránya mentén) alkalmazhatósága, ahogy a 3.1.5. alfejezetben kifejtettem, nem független a bordák relatív pozíciójától. Mivel azonban a fent szemléltetett, nehezen, vagy egyáltalán nem kikövetkeztethető faktorok ezt a relatív bordapozíciót nagyban befolyásolják, a süvegfelületek jellegének geometriailag hiteles rekonstrukciója problémás. A valódi hálóboltozatok süvegfelületeinek építéstechnikája ennél is nehezebb kérdés. Noha a bordák felső síkjának kiképzése, amennyiben ismert, adhat támpontot arra nézve, hogy hogyan csatlakozhattak hozzájuk a süvegek, ahogy több példa esetén is bemutattam (Andocs, szentélyboltozat [Melléklet 7.3.], Segesvár, hajóboltozatok [Melléklet 2.2.2.; 2.3.2.; 2.4.2.]), a süvegfalazás technikája is változhatott adott boltozaton belül, tehát egy adott bordahálóból ismert kis számú borda alapján sem rekonstruálható teljes bizonyossággal ez a szerkezet.

Szintén a rekonstruálhatóság kérdésköréhez kapcsolódó sarkalatos probléma az egyedi bordageometria, különös tekintettel a bordák görbületi sugaraira. A 2.2.3. alfejezetben már említettem, hogy a vezérgörbe elvet, vagyis hogy egy adott bordahálón belül az összes bordának azonos a görbületi sugara, már a 19. században megkérdőjelezte a kutatás. A jelen dolgozatban bemutatott esetek is alátámasztották e kétségeket (3.3.2.1. alfejezet). Noha találtam példát az elv alkalmazására (szeged-alsóvárosi hajó és sekrestyeboltozat [Melléklet 5.3.3.2.; 5.4.3.2.], medgyesi sekrestye [Melléklet 3.4.3.2.] és a nyírbátori templom [Melléklet

6.4.2.]), nem ez volt általános. Érdekes, hogy a vezérgörbe elvet “részlegesen” alkalmazó példák is akadtak, amikor csak a bordahálón belül a betöltött funkció szerint jól definiálható bordacsoportokon belül egységesek a görbületi sugarak, mint a szászbogácsi hajóboltozat (Melléklet 1.4.2.) vagy a landshuti hajóboltozat (Melléklet 4.4.2.) esetében. Ám más esetekben nem tudtam rendszert azonosítani a görbületi sugarakban. Kutatásom alapján az is előfordulhat, hogy egy adott bordán belül sem egységesek a görbületi sugarak, mint a Lázói-kápolna (Melléklet 9.4.2.) vagy a medgyesi erődtemplom szentély- és hajóboltozatai (Melléklet 3.3.3.2.; 3.2.3.2.) is példázzák. Ez a sokszínűség az elméleti rekonstrukciók kérdése felől közelítve azt jelentheti, hogy egy-egy borda ismerete és annak geometriai adatainak felvétele még nem feltétlen alapozza meg a teljes bordaháló rekonstrukcióját görbületi sugár szempontjából.

Ehhez adódik hozzá a 2.3.4. alfejezetben a pontfelhőből való görbületmérés bizonytalanságai kapcsán körüljárt kérdés: az ott leírt mérési nehézségek, a borda “valódi” vagy “eredeti” ívének eltalálása és a mért értékek leggondosabb munka mellett is fennálló bizonytalansága ugyanúgy vonatkozhat a már nem álló emlékek ismert bordáinak felmérésére is. Sőt, e bordák esetén további nehézség lehet, hogy a borda sokszor nem egyben, hanem bordaelemenként őrződött meg. Így a mérések rövidebb szakaszokon végezhetőek el, mely a geometria, és így a mérési eredmények bizonytalanságát tovább fokozza.

A rövid szakaszokon lehetséges mérésekben rejlő hibalehetőségek másik, rekonstrukciókat érintő formáját jelentheti a bordacsomóponti elemek bordacsonkjai esetében azok irányainak meghatározása, mely sarkalatos kérdés lehet a bordaháló rajzolatának rekonstrukciója során.

A rajzolat rekonstrukciójának tekintetében a feldolgozott esetek más tanulságot is tartogattak: több esetben előfordult, hogy egy adott borda csomóponttól csomópontig nem egyenes, így egy esetleges részlegesen megmaradt geometria alapján kimérhető irány, még ha a mérés pontos is, nem a borda valós irányát mutatja meg.¹⁹² (Szászbogács, hajóboltozat, délnyugati sarok; Medgyes, szentélyboltozat IIINA1, IIINA2¹⁹³; Segesvár, északi mellékhajó boltozata, nyugati

¹⁹² Fontos kiemelni, hogy az idézett példák egy része téglalordás boltozat, ahol csomóponti elem jellemzően nem készül. Ám az andocsi és siklósi példák esetén ilyen elemek vannak, így a megfigyelés nem csak a részlegesen megmaradt geometria esetére, hanem a csomóponti elemek bordacsonkjainak irányai tekintetében is érvényes.

¹⁹³ A bordák kódjának feloldását ld. Melléklet 3-17. ábra.

travé délkeleti fiókot határoló bordája; Siklós, délnyugati fiókot övező borda; Andocs C1.0 borda¹⁹⁴).

Természetesen a hálóboltozatok rekonstrukcióinak geometriai hitelessége nagyban függ attól, hogy milyen kiindulási adatok állnak a kutatók rendelkezésére. Úgy vélem, hogy az itt bemutatott, valós boltozatok geometriai elemzésén alapuló megfontolások jól mutatják, hogy egy-egy elméleti rekonstrukció hitelessé nyilvánításával nagyon óvatosan kell bánnunk. Az, hogy milyen mértékű geometriai hitelességet várunk el egy rekonstrukciótól, természetesen függ a rekonstrukció céljától. Jelen dolgozat szempontjából a tudományos célú rekonstrukciók kapcsán fontosnak tartom kiemelni, azt a 4.2. alfejezetben tárgyalt boltozatgenealógiai kérdések részletezésekor már megfogalmazott gondolatot, miszerint hálóboltozatok egymással való szoros (műhelykapcsolaton vagy azonos mester munkáján alapuló) kapcsolatának megállapításához kiemelt jelentősége van a boltozatok pontos geometriájának, mely alapján következtethetünk a szerkesztés- és építéstechnikára. Ám pont ezek a részletek azok, melyek hiteles elméleti rekonstrukcióját a fenti megfontolások alapján szinte lehetetlen elkészíteni. Így míg egy-egy elméleti rekonstrukció érdekes építészettörténeti adalék lehet az adott épület kapcsán, épületek egymással való kapcsolatainak megállapítására csak fenntartásokkal használható.

¹⁹⁴ A borda kódjának feloldását ld. Melléklet 7-15. ábra.

5 Összegzés

Doktori értekezésemben a késő középkori hálóboltozatok szerkesztés- és építéstechnikai módszereinek geometria alapú rendszerezésére tettem kísérletet, melybe a szakirodalmi forrásokban megjelenő módszereken túl, a saját, térszkennerrel felmért és pontos geometriai leírásokon alapuló esettanulmányaim tanulságait is beépítettem, illetve a felállított új rendszerezés boltozatgenealógiai vizsgálatokra való alkalmazhatóságát vizsgáltam, valamint az esettanulmányok és egyéb geometriai megfontolások alapján a hálóboltozatok geometriai tekintetben hiteles elméleti rekonstrukcióinak kérdését tárgyaltam.

A kutatás kérdéseinek megválaszolásához a téma szakirodalmának kritikai elemzése adta az elméleti háttérrel. Az így megismert alapelvek vizsgálata, és az általánosan elfogadott alapvetések valóságos, az esettanulmányaimból megismert szituációkkal való összevetése után kijelöltem az elméleti háttér azon pontjait, melyet kutatásom során nem fogadtam el axiómának. Ezáltal olyan kérdéseket is vizsgálat tárgyává tettem, mellyel korábban nem foglalkozott a kutatás, mint annak a lehetősége, hogy a hálóboltozatok szerkesztésének első lépése nem feltétlenül az alaprajzi vetület megszerkesztése volt, mely véleményem szerint a szakirodalomban közölt esetek alaprajzi szabálytalanságainak elhanyagolása miatt válhatott megkérdőjelezhetővé. Hálóboltozatok szerkesztéstechnikájának pontos, térszkennerrel előállított pontfelhőn alapuló geometriai vizsgálata magyar viszonylatban kutatásom megkezdése előtt nem volt jellemző, nemzetközi viszonylatban is aránylag csekély számú hasonló célú kutatás épült erre a módszerre, így a kutatás során elemzett 15 boltozat részletes, szisztematikus, pontos geometriai leírásokon alapuló feldolgozása mint módszertan is újszerűnek tekinthető. A valóságos szerkezetek pontos geometriáját alapul vevő vizsgálatok során egyéb olyan eredményekre is jutottam, melyek a téma szakirodalmában korábban nem szereplő szerkesztés- és építéstechnikai kategóriák lehetőségeit is felvetették, mint az, hogy a hálóboltozatok süvegfelületének globális (lineáris vagy centralizáló) jellege a bordaháló rajzolatától függetlennek bizonyult.

A doktori kutatás elsődleges eredményei közé tartozik, hogy a téma szakirodalma, az esettanulmányok tanulságai, valamint geometriai és építéstechnikai szükségszerűségek alapján új, geometria alapú tipológiai rendszereket állítottam fel a hálóboltozatok bordahálójának és boltsüvegének kapcsolata, valamint a boltsüveg és a bordaháló globális geometriája tekintetében.

A dolgozat mellékleteként közlöm 9 épület 15 hálóboltozatának pontos geometriai leírását, az azon alapuló szerkesztés- és építéstechnikai következtetéseket, és az új tipológiai rendszerekbe való besorolásuk elméleti levezetését. A dolgozat törzsszövegébe is részlegesen beemeltem az esettanulmányok közül kettőt, melyek megítélésem szerint kiemelt jelentőséggel bírnak. A szeged-alsóvárosi Havas Boldogasszony-templom hajóboltozata az ál-hálóboltozatok és valódi hálóboltozatok kérdéskörének vizsgálata okán kapott kiemelt szerepet. Itt a boltozat pontos geometriai leírása és az abból levont szerkesztéstechnikai következtetések alapján részletes elméleti rekonstrukciót közlök a boltozat építéstechnikájáról, mely eltér a szakirodalomban eddig megjelent elméletektől. A szászbogácsi erőtemplom hajóboltozata a nem alaprajzi síkból indított szerkesztéstechnika azonosítása miatt bír kiemelt jelentőséggel dolgozatomban. A boltozat igen kevés szabályosságot mutató geometriája lehetőséget adott arra, hogy a csekély számú, de a térszkennerrel előállított pontfelhő alapján világosan azonosítható szabályos jellemző felismerésével megalkothassam a teljes szerkesztés- és építéstechnikai folyamat valószínűsíthető elméleti rekonstrukcióját.

Dolgozatomban kitértem az építési folyamatok elméleti rekonstruálhatóságának lehetőségeire is. Alapvetően minél szabályosabb egy adott boltozat geometriája, annál többféle módon tűzhető ki és építhető meg a szerkezet. A legtöbb megvizsgált esetben ezért nem tudtam pontos rekonstrukciót adni a folyamat szempontjából, ám a szabályosabb geometriák is lehetővé tehetik az építési folyamat és az építés közbeni segédstruktúrák egy-egy típusának valószínűsítését. Így a vonatkozó fejezetben igyekeztem rendszerbe foglalni a lehetőségeket és a megvizsgált esetek tanulságai alapján kiemelni azokat a támpontokat, melyek segíthetnek azonosításukban.

Az értekezésem hangsúlyos pontját jelenti a geometria alapú tipológiai rendszereknek a hálóboltozatok egymással való kapcsolata szempontjából való értelmezése. Az, hogy a hálóboltozatok genealógiai kapcsolatainak megállapításához a szerkezetek teljes, három dimenziós geometriáját vettem alapul, szintén újszerű az emléktanyag értelmezésében – a szakirodalmi források leggyakrabban csak a bordaháló alaprajzi vetületi képére fókuszálnak. E témán belül a megvizsgált esettanulmányaim közül olyan épületeket állítottam párba, melyek esetében a fennálló kapcsolat lehetősége a szakirodalom alapján elképzelhető. Az összehasonlító elemzések közül a legkiemelkedőbb eredményt a szeged-alsóvárosi Havas Boldogasszony-templom hajóboltozatának és a nyírbátori templom boltozatának összehasonlítása adta. E két templom szoros kapcsolata a szakirodalmi forrásokban gyakran

felmerül, ám a boltozatok geometriája és az azokból kikövetkeztethető szerkesztés- és építéstechnikai jellemzők nem támasztják alá a kapcsolat meglétét.

A dolgozat másik, az elsődleges eredményeket összefogóan értelmező része a már nem álló hálóboltozatos emlékek geometriailag hiteles elméleti rekonstrukcióinak korlátait tárgyalja. A megvizsgált példákon azonosított geometriai szabálytalanságok egyes típusai nem következnek szükségszerűen a boltozandó tér geometriájából, így a már nem álló boltozatok esetében, amennyiben hasonló szabálytalanságok fenn is álltak, azok visszafejtése és a rekonstrukcióba való beépítése nem lehetséges. Ezen kívül a dolgozat eredményei között szereplő, bővített tipológiai rendszerek azt is jelentik, hogy az elméleti rekonstrukciók felépítésének egyes lépéseinél a korábban feltételezettnél több elméleti lehetőség mérlegelése válhat szükségessé, melyek közül a "helyes" választás szintén nem feltétlenül következtethető ki a megmaradt jellemzőkből. Az e fejezetben közölt megfontolások azokban az esetekben válnak fontossá, amikor a rekonstrukciók mint az épületgenealógiai megfontolások alapjai kapnak szerepet, hiszen pont azok a részletek válnak bennük bizonytalanná, melyek a feltételezett genealógiai kapcsolatok erős bizonyítékait jelenthetnék.

A doktori kutatásom további irányát, jövőbeli folytatásának lehetőségét jelentheti a dolgozatban bemutatott módszertan és tipológiai rendszerek más emlékeken történő alkalmazása. Ez természetesen jelentheti a magyarországi vagy külföldi középkori emlékek elemzését is, de a szerkezetek geometriai jellemzőinek vizsgálata a szerkezet korától függetlenül hozhat új eredményeket, így akár neogótikus hálóboltozatok elemzésének a lehetősége is nyitva állhat. A módszertan és tipológiai rendszerek továbbfejlesztésének irányát jelentheti a hálóboltozat típuson kívül más bordás boltozatokra kidolgozott hasonló rendszer is. A doktori képzésem kutatási szakaszának utolsó évében elnyert EKÖP pályázat által támogatott kutatás e két irány kombinációjaként is felfogható: a kutatás tárgyát a 19. századi csillagboltozatok valós szerkezetek és szakirodalmi alapelvek alapján meghatározott geometriai jellemzőinek összehasonlítása képezte. A magyar középkori hálóboltozatos emlékek vonatkozásában a pontos geometrián alapuló összehasonlító elemzések új boltozatokkal való bővítése szintén izgalmas lehetőségeket tartogathat. A megvizsgált esetek sorának bővítése gótikus építészeti örökségünk szélesebb körű, átfogó megismerését, és akár az európai tendenciákba való pontosabb beillesztését is lehetővé teheti.

6 Köszönetnyilvánítás

Doktori tanulmányaim során sok segítséget és támogatást kaptam. Elsőként szeretnék köszönetet mondani Dr. Krähling Jánosnak, aki témavezetőként segítette munkámat és Daragó Lászlónak, aki a kutatás során számos meglátással gazdagította eredményeimet és szakmai tevékenységemet folyamatosan figyelemmel kíséri és támogatja. Köszönettel tartozom a BME Építészettörténeti és Műemléki Tanszék minden munkatársának, kiváltképp Dr. Halmos Baláznak és Budaházi Fanninak a közös kutatásokért, valamint Leitgéb Máriának, Dr. Fehér Krisztinának és Dr. Marótyz Katalinnak. Hálával tartozom a Szászbogácsi Nyári Egyetem programsorozat szervezőinek, hiszen a dolgozatomban vizsgált emlékek egy részének felmérésére e táborok keretein belül kerülhetett sor.

7 Irodalomjegyzék

- Choisy 1883 Choisy, Auguste. *L'art de batir chez les byzantins*. Librairie de la Société anonyme de publications périodiques, Paris 1883.
- Bálint 1966 Bálint, Sándor: *A Szeged-alsóvárosi templom*. Pannonia Kiadó, Budapest 1966.
- Baño 2020 Baño, Ricardo Garcia – Glera, Macarena Salcedo: Geometry and Construction of the Eight-Loop Ribbed Vault. *Nexus Network Journal* 22 (2020). 895–913. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00501-4>
- Böker 2005 Böker, Johann Josef: *Architektur der Gotik: Bestandskatalog der weltgrössten Sammlung an gotischen Baurissen*. A. Pustet, Salzburg 2005.
- Bucher 1972 Bucher, François: Medieval architectural design methods, 800-1560. *Gesta* 11 (1972) 2. 37-51.
- Bucher 1979 Bucher, François: *Architector. The Lodge Books and Sketchbooks of Medieval Architects*. Abaris Books, New York 1979.
- Buzás 1999 Buzás, Gergely: A kései Mátyás-kor királyi építkezései és a késő gótikus építészet stílusáramlatai Magyarországon. In: Kiss, Imola - Szócs, Péter Levente (eds.): *Arhitectura religioasa medievala din Transilvania*. Editura Muzeului Sătmărean, Satu Mare. 1999. 135-162.
- Bürger 2007 Bürger, Stefan: *Figurierte Gewölbe zwischen Saale und Neisse – Spätgotische Gewölbekunst von 1400 bis 1600*. VDG, Weimar 2007.
- Császár 1970 Császár, László: A kései gótikus, hajlított bordás boltozatechnika és magyarországi hatása. In Dezső Dercsényi – Géza Entz – Pál Havassy – Ferenc Merényi (eds): *Magyar Műemlékvédelem 1967–68*. Akadémiai Kiadó, Budapest 1970. 65–78.
- Császár 1987-88a. Császár, László: 1987-88. Későgótikus boltozattípusok Európában I. *Építés-Építészettudomány* 19 (1987-88) 1-2. 93-168.
- Császár 1987-88b. Császár, László: 1987-88. Későgótikus boltozattípusok Európában II. *Építés-Építészettudomány* 19 (1987-88) 3-4. 407-448.
- Császár 2002 Császár, László: A Szeged-alsóvárosi ferences templom boltozatairól. In: *Détshy Mihály nyolcvanadik születésnapjára. Tanulmányok*. Kulturális Örökségvédelmi Hivatal, Budapest 2002. 155-160.
- De l'Orme 1567 De l'Orme, Philibert: *Le quatrieme livre de l'architecture de Philibert de l'Orme...* Morel, Paris 1567.

- Dopazo 2016 Dopazo, Pablo Moreno: Rodrigo Gil de Hontañón and 16th Century Building Techniques. The Cimborio Vault of Archbishop Fonseca College Chapel in Salamanca (Spain). *International Journal of Architectural Heritage* 10 (2016) 8. 1110–1124. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1187778>
- Entz – Szalontai 1959 Entz Géza -Szalontai Barnabás: *Nyírbátor*, Budapest 1959.
- Fabini – Fabini 1985 Fabini, Herman, Fabini, Alida. 1985. *Kirchenburgen in Siebenbürgen*. Leipzig: Koehler&Amelang.
- Fabini 1999 Fabini, Herman. 1999. *Atlas der siebenbürgisch-sächsischen Kirchenbau und Dorfkirchen* Hermannstadt: Monumenta Verlag Hermannstadt and Arbeitskreis für Siebenbürgische Landeskunde e.V. Heidelberg.
- Fitchen 1961 Fitchen, John: *The construction of gothic cathedrals. A study of medieval vault erection*. Chicago: The University of Chicago Press, Chicago 1961.
- Fuentes – Huerta 2016 Fuentes, Paula - Huerta, Santiago: 2016. Geometry, construction and structural analysis of the crossed-arched vault of the chapel of Villaviciosa, in the Mosque of Córdoba. *International Journal of Architectural Heritage* 10 (2016) 5. 589-603.
- Gonzalo – Talaverano 2012 Gonzalo, J. C. Palacios - Talaverano, R. Martín: Technological development in Spanish gothic vaults design. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration* 7 (2012) 2. 189-206.
- Guillouët 2019 Guillouët, Jean-Marie: *Flamboyant Architecture and Medieval Technicality (c. 1400–c. 1530)*. Turnhout, Brepols 2019.
- Guzsik 2003 Guzsik, Tamás. 2003. *A pálos rend építészete a középkori Magyarországon*. Budapest: Mikes Kiadó.
- Halmos 2007 Halmos, Balázs: *A gyulafehérvári székesegyház Lázói-kápolnája. Építészettörténeti monográfia*, Phd értekezés, Budapest, 2007.
- Harsányi 2001 Harsányi, István: A szeged-alsóvárosi ferences templom gótikus szentélye csillagboltozatának helyreállítása. *Műemlékvédelem* 45 (2001) 5. 294–304.
- Harsányi 2005 Harsányi, István: *Szeged Alsóvárosi ferences templom hajó-boltozatának és falfelületeinek kutatása, építészettörténeti vonatkozások föltárása. II. kötet. A hajóboltozat felújítási munkáinak tervezését megelőző építészeti-műemléki kutatás.* (2005) Elérhető: <https://docplayer.hu/16384222-Dr-lukacs-zsuzsaemlekere.html> (Utolsó hozzáférés: 2023 április 20.)
- Heyman 1995 Heyman, Jacques: *The Stone Skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge University Press, Cambridge 1995.

- Hoffstadt 1840 Hoffstadt, Friedrich: *Gothisches ABC-Buch: Vorlegeblätter zum gothischen A-B-C-Buche...* Siegmund Schmerber, Frankfurt a. M. 1840.
- Horler 1979 Horler, Miklós: Módszertani adalékok a magyar kés középkori építészet kutatásához. *Építés-Építésztudomány* 11 (1979) 1-2. 35-48.
- Huerta 2012 Huerta, Santiago: Technical Challenges in the Construction of Gothic Vaults: The Gothic Theory of Structural Design. In U. Hassler – C. Rauhut (eds): *Bautechnik des Historismus. Von den Theorien über gotische Konstruktionen bis zu den Baustellen des 19. Jahrhunderts*. Hirmer, München 2012. 163–195.
- Huth 2020 Huth, Olaf: *Entwurfs-und Konstruktionsprinzipien des spätgotischen Netzgewölbes der Kirche St. Peter und Paul in der Lutherstadt Eisleben*. University of Bamberg Press, Bamberg 2020.
- Javier 2012 Javier, Girón, F.: Compartement (travée) Drawings in the „Histoire de l'architecture” and the problem of describing Gothic Architecture in the 19th century: from Whewell to Choisy. In U. Hassler - C. Rauhut (ed.): *Bautechnik des Historismus. Von den Theorien über gotische Konstruktionen bis zu den Baustellen des 19. Jahrhunderts*. Hirmer, München 2012. 197-215.
- Jobbik 2024 Jobbik Eszter: Linear and Centralised Net Vaults. Geometry-Based Building Archaeology Presented on the Net Vaults of the Fortified Church of Mediaş. *ÉPÍTÉS-ÉPÍTÉSZEZTUDOMÁNY* 52 (2024) 1-2 pp. 25-47. <https://doi.org/10.1556/096.2024.00118>
- Jobbik 2025a Jobbik Eszter: Terrestrial laser scanning as a tool for geometry-based building genealogy research: St Martin's in Landshut and South-Transylvanian Saxon Churches. *STUDIA UBB HISTORIA ARTIUM* – megjelenés alatt
- Jobbik 2025b Jobbik Eszter: Analysing Construction and Building Techniques of Neogothic Stellar Vaults: The Case of the Cathedral of Košice. *ÉPÍTÉS-ÉPÍTÉSZEZTUDOMÁNY* Online First Publication. <https://doi.org/10.1556/096.2025.00140>
- Jobbik – Budaházi 2024 Jobbik Eszter, Budaházi Fanni: ‘Building Archaeology’ with Laser Scanning: Geometry-Based Architectural Analysis of the Franciscan Church of Szeged-Alsóváros. *ANNALES UNIVERSITATIS APULENSIS. SERIES HISTORICA* 27. <https://doi.org/10.29302/auash.2023.27.1>

- Jobbik – Daragó
Jobbik Eszter, Daragó László: Geometry-based ‘building archaeology’ and comparative analysis of the curvilinear ribbed net vaults in Siklós and Andocs. *MATERIALI E STRUTTURE* - megjelenés alatt
- Jobbik – Halmos
Jobbik Eszter, Halmos Balázs: Point cloud-based geometric net vault analysis and the question of ‘stellar-net vaults’, discussed apropos of the vault of the Lázói chapel in Alba Iulia - elbírálás alatt
- Jobbik – Krähling
2022a
Jobbik Eszter, Krähling János: Late Mediaeval Net Vault Construction Method Rediscovered by Geometric Analysis. A Case Study of the Fortified Church of Băgaciu (Bogeschdorf). *BRUKENTHAL. ACTA MUSEI* 17 (2022) 2 pp. 179-201.
- Jobbik – Krähling
2022b
Jobbik Eszter, Krähling János: Remodelling a medieval net vault construction. Case study: the apsis vault in the catholic church of Andocs. *ÉPÍTÉS-ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY* 50 (2022) 3-4 pp. 317-349. <https://doi.org/10.1556/096.2022.00077>
- Jobbik – Krähling
2023a
Jobbik Eszter, Krähling János: Real Net Vault or Pseudo-Ribbed Net Vault? Geometry, Construction and Building Technique of the Vault of the Reformed Church of Nyírbátor and the Nave Vault of the Franciscan Church of Szeged-Alsóváros. *ÉPÍTÉS – ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY* 51 (2023) 3–4 pp. 229–256 <https://doi.org/10.1556/096.2023.00100>
- Jobbik – Krähling
2023b
Jobbik Eszter, Krähling János: Approaching Building Connections Based on Net Vaults’ Geometric Analysis. The Vaults of the Church on The Hill of Sighișoara and the Church of Băgaciu. *BRUKENTHAL. ACTA MUSEI* 18 (2023) 1 pp. 49-68.
- Jobbik – Krähling
2024a
Jobbik Eszter, Krähling János: A Methodological Approach and Geometry-Based Typology of Late-Gothic Net Vaults’ Rib Systems. Presented on Case Studies from Historic Hungary. *NEXUS NETWORK JOURNAL* 27 (2024) 95-117. <https://doi.org/10.1007/s00004-024-00780-1>
- Jobbik – Krähling
2024b
Jobbik Eszter, Krähling János: The Geometric System of the Nave Vault of the Church on the Hill of Sighișoara. *STUDIA UBB HISTORIA ARTIUM* 68 (2024) pp. 7-43. DOI: [10.24193/subbhstart.2023.01](https://doi.org/10.24193/subbhstart.2023.01)
- Jobbik – Krähling
2024c
Jobbik E., Krähling J.: Mapping Rib-Web Connections in Late Gothic Net Vaults: A Geometry-Based Typology. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 35. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00388>

- Lassaulx 1831 Lassaulx, M. de: Description of a Mode of Erecting Light Vaults over Churches and Similar Spaces. *Journal of the Royal Institution of Great Britain* 1 (1831) 224-240.
- Lassaulx 1835 Lassaulx, J.C.: 1835. Architektonisch-historische Berichtigungen und Zusätze. In Klein, J.A. (ed.): *Rheinreise von Straßburg bis Rotterdam*. Bädecker, Koblenz 1835. 439 ff.
- Lengyel – Bagi 2015 Lengyel, G. – Bagi, K.: Numerical Analysis of the Mechanical Role of the Ribs in Groin Vaults. *Computers and Structures* 125 (2015) 42–60.
- Levárdy 1980 Levárdy, Ferenc: *Szeged Alsóvárosi templom*. TKM Egyesület, Budapest 1980.
- Mainstone 1997 Mainstone, J. Rowland, Structural analysis, structural insights, and historical interpretation. *Journal of the Society of Architectural Historians* 56 (1997) 3. 316-40.
- Meckel 1933 Meckel, Carl Anton: Figurierte Gewölbe der deutschen Spätgotik. *Architectura: Jahrbuch für Geschichte der Baukunst* 1 (1933). 107-121.
- Müller 1974 Müller, Werner: Einflüsse der österreichischen und der böhmisch-sächsischen Spätgotik in den Gewölbemustern des Jacob Facht von Andernach. *Wiener Jahrbuch für Kunstgeschichte* 27 (1974) 1. 65-82.
- Müller 1975 Müller, Werner: Die Zeichnungsvorlagen für Friedrich Hoffstadts “Gotisches A.B.C.-Buch” und der Nachlass des Nürnberger Ratsbaumeisters Wolf Jacob Stromer (1561-1614). *Wiener Jahrbuch für Kunstgeschichte* 28 (1975) 1. 39-54.
- Müller 1990 Müller, Werner: *Grundlagen gotischer Bautechnik. Ars sine scientia nihil*. Deutscher Kunstverlag, München 1990.
- Nagy 1994 Nagy, Zoltán: A ferencesek Szeged-alsóvárosi temploma. *Magyar Építőművészet* (1944) 89-93.
- Nussbaum-Lepsky 1999 Nußbaum, Norbert, Lepsky, Sabine, *Das gotische Gewölbe: Eine Geschichte seiner Form und Konstruktion*. Deutscher Kunstverlag, München 1999.
- Pacey 2007 Pacey, Arnold: *Medieval Architectural Drawing: Geometry and Medieval Drawing*. Tempus, Stroud, 2007.
- Papp 2005 Papp, Szilárd: *A királyi udvar építkezései Magyarországon 1480-1515*. Balassi, Budapest 2005.
- Pliego 2012 Pliego, Elena 2012. Georg Gottlob Ungewitters Lehrbuch der gotischen Constructionen . In U. Hassler - C. Rauhut (ed.): *Bautechnik des*

Historismus. Von den Theorien über gotische Konstruktionen bis zu den Baustellen des 19. Jahrhunderts. Hirmer, München 2012. 217-229.

- Ranisch 1695 Ranisch, Bartel: *Beschreibung aller Kirchengebäude der Stadt Dantzig...* Raths und Gymnasii Buchdruckern, Dantzig 1695.
- Renn et al. 2014 Renn, J. - Osthues, W. - Schlimme, H.: *Wissensgeschichte der Architektur 3. Vom Mittelalter bis zur frühe Neuzeit.* Edition Open Access, Berlin 2014.
- Roth 1905 Roth, Victor: *Geschichte der deutschen Baukunst in Siebenbürgen.* Heitz&Mündel, Strassbourg 1905.
- Schuller 2016 Schuller, Manfred: Bautechnik. In Hubel, A. – Schuller, M. (eds.): *Der Dom zu Regensburg 7/3.* Pustet, Regensburg 2016. 434–503.
- Shelby 1972 Shelby, Lon R.: The Geometric knowledge of mediaeval master masons. *Speculum* 47 (1972). 395-421.
- Shelby – Mark 1979 Shelby, Lon, R. – Mark, R: Late Gothic Structural Design in the ‘Instructions’ of Lorenz Lechler. *Architectura* 9 (1979) 2. 113–131.
- Szőke 2005 Szőke, Balázs: A Szeged-Alsóvárosi ferences templom hajóboltozata. In Óze Sándor – Medgyesy-Schmikli Norbert (eds): *A ferences lelkiség hatása az újkori Közép-Európa történetére és kultúrájára 2.* PPKE BTK–METEM, Piliscsaba – Budapest 2005. 875–890.
- Szőke 2009a Szőke, Balázs: Boltozat-rekonstrukciók és boltozatok számítógépes elemzése. In: Gergely Buzás – Gábor Rezi Kató – Zsolt Vasáros (eds): *Reneszánsz látványtár. Virtuális utazás a múltba.* Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest 2009. 443-462.
- Szőke 2009b Szőke, Balázs: Késő gótikus boltozatok Mátyás uralkodása idején és a 16. század első évtizedeiben. In: Gergely Buzás – Gábor Rezi Kató – Zsolt Vasáros (eds): *Reneszánsz látványtár. Virtuális utazás a múltba.* Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest 2009. 105–117.
- Szőke 2012 Szőke, Balázs. 2012. A Wechselberger-Harperger motívum Délkelet-Erdély késő gótikus építészetében. In *Tanulmányok a székelység középkori és fejedelemség kori történetéből*, ed. A. Sófalvi and Zs. Visy. Énlaka, Rumania: Pro Énlaka Alapítvány and Haáz Rezső Múzeum.
- Tomlow 1991 Tomlow, Jos: Versuch einer (zeichnerischen) Rekonstruktion des Gewölbes im spätgotischen Kreuzgang des Klosters Hirschau. In K. Schreiner (ed.): *Hirschau St. Peter und Paul 1091-1991.* Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, Stuttgart 365-393.

- Ungewitter 1901 Ungewitter, Georg Gottlob: *Lehrbuch der gotischen Konstruktionen. Neue bearbeitet von K. Mohrmann*. Chr. Herm. Tauchnitz, Leipzig 1901.
- Vidal 2017 Vidal, R. Maira: The evolution of the knowledge of geometry in early gothic construction: the development of the sexpartite vault in Europe. *International Journal of Architectural Heritage* 11 (2017) 7. 1005-1025.
- Viollet-le-Duc 1854-68 Viollet-le-Duc, Eugène: *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. Morel, Paris 1854–1868.
- Voigts 2014 Voigts, Clemens: Spätgotische figurierte Gewölbe in Bayern: Konstruktion und Herstellungsweise. In *Koldewey-Gesellschaft Veereinigung für Baugeschichte Forschung e.v. Bericht über die 48. Tagung für Ausgrabungswissenschaft und Bauforschung vom 28. Mai bis 1. Juni 2014 in Erfurt*. Thelem, Dresden 2014. 245-252.
- Voigts 2015 Voigts, Clemens: Bauforschung an figurierten Gewölben der Spätgotik: Das Beispiel der Georgskirche in Augsburg. *Architectura - Die Zeitschrift für Geschichte der Baukunst / Journal of the History of Architecture* 45 (2015) 45-69.
- Voigts 2021 Voigts, Clemens: Vaults, centring, and formwork of the late gothic period in Southern Germany. In J. Mascarenhas-Mateus and A. P. Pires (ed.): *Vaults, centring, and formwork of the Late Gothic period in Southern Germany vol. 2*. CRC Press, Boca Raton 2021. 78-83.
- Warth 1896 Warth, Otto: Die Konstruktionen in Stein. Band I. In A. G. Breymann (ed.): *Allgemeine Baukonstruktionslehre mit besonderer Beziehung auf das Hochbauwesen...* J. M. Gebhardt, Leipzig 1896.
- Wendland 2007 Wendland, David: Traditional vault construction without formwork: Masonry pattern and vault shape in the historical technical literature and in experimental studies. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration* 1 (2007) 4. 311-365.
- Wendland 2010 Wendland, David: Untersuchungen zu den Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien der spätgotischen Zellengewölbe. Ein neuer Ansatz in der Verknüpfung von geometrischen Analysen am Befund und experimenteller Archäologie. *Staatliche Schlösser, Burgen und Gärten Sachsen Jahrbuch* 17 (2010) 23-33. Sandstein Verlag, Dresden
- Wendland 2012 Wendland, David: Johann Claudius von Lassaulx' Gewölbe >aus freier Hand< - Die Wiedererfindung der gotischen Architektur und die Entwicklung der technischen Literatur. In U. Hassler - C. Rauhut (ed.): *Bautechnik des Historismus. Von den Theorien über gotische Konstruktionen bis zu den Baustellen des 19. Jahrhunderts*. Hirmer, München 2012. 93-117.
- Wendland Degenève 2017 – Wendland, David - Degenève, Frédéric: How to order fitting components for looping ribs: Design procedures for the stone members of complex late gothic vaults. In J.W.P. Campbell et al. (ed.): *Building Histories: The*

Proceedings of the Fourth Conference of the Construction History Society. Queens' College, Cambridge 2017. 159-170.

8 Mellékletek jegyzéke

Melléklet 1. Szászbogács, erődtemplom, hajóboltozat

Melléklet 2. Segesvár, Hegyi-templom

Melléklet 3. Medgyes, erődtemplom

Melléklet 4. Landshut, Szent Márton-templom, főhajó boltozata

Melléklet 5. Szeged-Alsóváros, Havas Boldogasszony-templom

Melléklet 6. Nyírbátor, Szent György-templom, templomboltozat

Melléklet 7. Andocs, Miasszonyunk Bazilika, szentélyboltozat

Melléklet 8. Siklós, várkápolna, szentélyboltozat

Melléklet 9. Gyulafehérvár, Lázói-kápolna, boltozat

9 Ábrajegyzék

2-1. ábra Bordák és bordacsomópontok absztrakciója vonalakká és metszéspontokká	26
2-2. ábra Példák enyhén szabálytalan bordákra és csomópontokra. a. Alaprajzilag (nem szándékosan) görbült bordák. Szeged-Alsóváros, sekrestyeboltozat b. A bordatengelyek metszéspontja és a bordacsomópont középpontja eltér. Andocs, szentélyboltozat	26
2-3. ábra Példák nem egyenletesen ívelt alsó bordafelületekre. Siklós, várkapolna, szentélyboltozat	28
3-1. ábra Szintvonalas ábrázolás készítésének elve a szeged-alsóvárosi szentélyboltozat példáján szemlélítve	31
3-2. ábra Valódi hálóboltozatok szintvonalas képe. Elvi ábra és valós példa (Szeged-Alsóváros, hajóboltozat felső zónája)	32
3-3. ábra Ál-hálóboltozatok elvi szintvonalas képe és borda-süveg kapcsolat kialakítása	32
3-4. ábra Valódi hálóboltozatok teljes felületű zsaluzattal épült süvegekkel. Elvi ábrák és valós példák. Bal: lineáris globális jelleg esetén (Medgyes, szentélyboltozat). Jobb: centralizáló globális jelleg esetén (Szeged-Alsóváros, szentélyboltozat)	33
3-5. ábra Valódi hálóboltozatok kézből falazott süvegekkel. Elvi ábrák és valós példák. Bal: lineáris globális jelleg esetén (Szászbogács, hajóboltozat). Jobb: centralizáló globális jelleg esetén (Nyírbátor, boltozat)	35
3-6. ábra A medgyesi erődtemplom sekrestyeboltozatának szintvonalas képe	35
3-7. ábra Valódi hálóboltozatok szintvonalas ábrája lineáris globális jellegű süvegfelület esetén. Elvi ábra és valós példa (Szászbogács, hajóboltozat)	37
3-8. ábra Valódi hálóboltozatok szintvonalas ábrája centralizáló globális jellegű süvegfelület esetén. Elvi ábra és valós példa (Medgyes, hajóboltozat legkeletibb travéja)	37
3-9. ábra Az andocsi templom szentélyboltozatának szintvonalas képe	39
3-10. ábra A segesvári Hegyi-templom hajóboltozatának szintvonalas képe	39
3-11. ábra A szeged-alsóvárosi templom sekrestye- és szentélyboltozatának szintvonalas képe	40
3-12. ábra A gyulafehérvári Lázói kápolna boltozatának szintvonalas képe	41
3-13. ábra A medgyesi erődtemplom hajóboltozatának szintvonalas képe	42
3-14. ábra A süvegfelületek globális jellege és a süvegfalazás módja. Összefoglaló elvi ábra	43
3-15. ábra A bordarajzolat típusa és a süvegfelület globális jellege. Összefoglaló elvi ábra	44
3-16. ábra A szeged-alsóvárosi templom hajóboltozatának szintvonalas képe	47
3-17. ábra Építési folyamat elméleti rekonstrukciója a szeged-alsóvárosi templom hajóboltozata esetén	49
3-18. ábra Boltozat bordahálójára illesztett koordináta-rendszer (Szeged-Alsóváros, szentélyboltozat)	50
3-19. ábra Bordaháló leképezése a bordahálóra illesztett koordináta-rendszer síkjaiba	51
3-20. ábra Bordaháló vetületi képének vizsgálati módjai. a. "Egyenesek" illesztése b. "Körök" illesztése c. "Átlók" illesztése	52
3-21. ábra Egymástól függetlenül szerkeszthető csomópont-koordináták esete. Elvi ábra	54
3-22. ábra Egymástól függetlenül szerkeszthető csomópont-koordináták esete a nyírbátori boltozat példáján szemlélítve	55
3-23. ábra Alaprajzi síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete. Elvi ábra	56

3-24. ábra Alaprajzi síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete a szeged-alsóvárosi hajóboltozat példáján szemléltetve	57
3-25. ábra Keresztmetszet irányú síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete. Elvi ábra	57
3-26. ábra Keresztmetszet irányú síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete a szászbogácsi hajóboltozat példáján szemléltetve	58
3-27. ábra Hosszmetszet irányú síkból kiinduló szerkesztéstechnika esete. Elvi ábra	59
3-28. ábra Példa a nem egy körív mentén görbült bordákra (Gyulafehérvár, Lázói kápolna boltozata)	62
3-29. ábra Utólagos alakítás nyoma a borda alsó felületén (Andocs, szentélyboltozat)	62
3-30. ábra A szászbogácsi hajóboltozat rekonstruált szerkesztéstechnikájának építés közbeni segédszerkezetként való megjelenése. Elméleti rekonstrukciók	68
4-1. ábra Az alkalmazott módszertan lépései. Pontos geometria (pontfelhő), bordaháló vetületi képeinek és az egyedi bordageometriának a vizsgálata, építés közbeni segédszerkezetek elméleti rekonstrukciója	69
4-2. ábra Építés közbeni segédszerkezet elméleti rekonstrukciója a szászbogácsi erődtemplom hajóboltozatához	71
4-3. ábra A feltételezett építés közbeni segédszerkezet és a fal relatív pozíciója a segesvári Hegyi-templom északi mellékhajóboltozata esetén	73
4-4. ábra Építés közbeni segédszerkezet jellegének elméleti rekonstrukciója a segesvári Hegyi templom északi mellékhajójához	73
4-5. ábra Elméleti kapcsolatrendszer a három hajóboltozat rajzolata között a segesvári Hegyi-templomban	80
4-6. ábra Térgörbe bordák oldalnézete. a. Andocs, szentélyboltozat b. Siklós, várkápolna, szentélyboltozat	84
4-7. ábra A szászbogácsi templom falainak vízszintes metszetei. Narancssárga: padlószinten, zöld: boltvállak szintjén	86