

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

Ing. Pavel Kříž

**ANALÝZA KONSTRUKČNÍCH, STATICKÝCH A
PROPORČNÍCH KRITÉRIÍ ROMÁNSKÝCH A
PŘEDROMÁNSKÝCH ROTUND**

ANALYSIS OF STRUCTURAL AND PROPORTIONAL CRITERIA OF
ROMANESQUE AND PRE-ROMANESQUE ROTUNDAS

ZKRÁCENÁ VERZE Ph.D. THESIS

Obor: Pozemní stavby

Školitel: doc. Ing. Milan Vlček, CSc.

Oponenti:

Datum obhajoby:

Klíčová slova

Románská architektura, předrománská architektura, velkomoravská architektura, rotunda, proporční analýza, konstrukční analýza, statická analýza, hypotetická rekonstrukce, historická délková míra,

Keywords

Romanesque architecture, Pre-Romanesque architecture, Great Moravian architecture, rotunda, proportional analysis, structural analysis, hypothetical reconstruction.

Místo uložení disertační práce: VUT v Brně, Stavební fakulta.

Obsah:

1	Současný stav řešené problematiky	4
1.1	Proporční analýza.....	4
1.2	Konstrukční analýza.....	6
1.3	Statická analýza.....	8
2	Cíle disertační práce	9
3	Metody disertační práce.....	10
4	Výsledky disertační práce.....	12
4.1	Proporční analýza.....	12
4.1.1	Analýza možného užití historických jednotek	14
4.1.2	Analýza užití obecného modulu	17
4.1.3	Analýza užití grafických proporčních metod	20
4.1.4	Analýza vertikálních proporcí	21
4.2	Konstrukční analýza.....	22
4.3	Statická analýza.....	24
4.3.1	Analýza zatížení základové spáry.....	24
4.3.2	Statická analýza kopule	26
5	Použitá literatura.....	27

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

1.1 Proporční analýza

Zájem o středoevropské rotundy se datuje do 19. století, kdy se touto problematikou zabývala celá řada badatelů. Jejich zájem se upíral zejména na objasnění původu tohoto architektonického typu. Jednu ze základních myšlenek zformuloval J. Neuwirth¹ již v roce 1874, kdy publikoval svou hypotézu o původu rotund ze vzoru palácové kaple Karla Velikého v Cáchách (Aachen), [1]. K diskusi o původu okrouhlých kostelů přispěl také K. B. Mádl², který jejich vzor předpokládal v Byzancii, přenesený prostřednictvím věrozvěstů Cyrila a Metoděje, konkrétně v rotundě sv. Jiří v Soluni (Thesaloniki).

Jednu z prvních hypotetických rekonstrukcí provedl Josef Cibulka³, který provedl hypotetickou rekonstrukci Václavovy rotundy svatého Víta [2].

Dalším významným vědcem, který se zabýval hypotetickou rekonstrukcí a původem románských rotund byl Josef Poulík⁴, který odkryl a zdokumentoval pozůstatky dvouapsidové rotundy – VI. kostela. Na základě poznatků z archeologického výzkumu a analogií se známými stavbami i dalšími obdobnými rekonstrukcemi, provedl hypotetickou rekonstrukci vzhledu rotundy. Ve své práci [3] také uvádí proporční modulový model půdorysu. V práci se také zabývá možnou výškou stavby. Podle příkladu Cibulkovy hypotetické rekonstrukce rotundy sv. Víta, provedl J. Poulík rekonstrukci možného tvaru dvouapsidové rotundy z Mikulčic.

Komplexním výzkumem románské rotundy sv. Kateřiny ve Znojmě se zabýval L. J. Konečný⁵, který ve své publikaci [4] mimo jiné uvádí konstrukční analýzu půdorysných rozměrů základového a obvodového zdiva. Jako měrnou jednotku

¹ Prof. Josef Neuwirth (* 5. 6. 1855, † 25. 4. 1934,) byl historik umění, archeolog, vysokoškolský pedagog na Technické univerzitě ve Vídni, kde zastával i funkci rektora. Zabýval se českým středověkým uměním a publikoval práce o křesťanském umění přemyslovců.

² Karel Boromejský Mádl (* 15. 8. 1859, † 20. 11. 1932,) byl historik a kritik umění, byl kmenovým kritikem Národních listů, věnoval se také románským rotundám a byl mluvčím umělců kolem SVU Mánes.

³ Prof. ThDr. PhDr. Josef Cibulka (* 1. 7. 1886, Ústí nad Orlicí, † 2. 4. 1968, Praha) byl významný český historik umění a archeolog, vysokoškolský pedagog, vědec evropského formátu a římskokatolický kněz. [21]

⁴ Prof. PhDr. Josef Poulík, DrSc. (*6. 8. 1910 Jiříkovice, † 28. 2. 1998, Brno) byl dlouholetý ředitel Archeologického ústavu ČSAV v Brně a v Praze, profesor v oboru slovanské archeologie. Nositel zlaté medaile University JEP v Brně. S jeho jménem je spojena velké éra úspěšných archeologických výzkumů zejména na Moravě (Dolní Věstonice, Staré Zámky, Mikulčice a další místa). Mezi nejvýznamnější z nich patří objev (1954) a výzkum centra Velkomoravské říše u Mikulčic. [20]

⁵ PhDr. Lubomír Jan Konečný (*1948) historik umění, bývalý pracovník Muzea města Brna.

uvažuje použití římské stopy (29,6–30 cm), pak by u znojemské rotundy po přepočtu rozměrů odpovídal průměr lodi 660 cm přibližně 22 římských stop a průměr apsidy 11 římských stop. Dále předpokládá, že východiskem půdorysné konstrukce byla kvadratura a triangulatura jako u jiných raněstředověkých staveb. Obecně u rotund také předpokládá užití „ideálního“ konstrukčního principu pomoci poměru zlatého řezu, uplatněného v poměru poloměru hlavní lodi ku vzdálenosti ze středu hlavní lodi do konce apsidy a poměru poloměru apsidy a hlavní lodi 1:2. L. J. Konečný také zveřejnil hypotézu o výškovém konstrukčním kánonu, kde jsou pomocí kružnic vyjádřeny výškové úrovně z půdorysných rozměrů. Hypotetickou rekonstrukci románské rotundy provedl také J. Unger⁶. Ve spolupráci s A. Niemcsicsem provedli hypotetickou rekonstrukci rotundy v Tasově. [5]

Základy hypotézy jednotného schématu vytyčení velkomoravských kostelů položil J. Pošmourný⁷, který ve své práci [6] formuloval vytyčovací schéma kostelů s půlkruhovou apsidou. Jeho hypotéza je založena na principu tzv. modulových kružnic, J. Pošmourný předpokládá, že základní jednotkou byla římská stopa, případně gradus, což je 2,5 římské stopy, tedy 0,739 m.

Výzkumem velkomoravských kostelů se zabýval i J. Klouda⁸, který na Stavební fakultě VUT v Brně, pod odborným vedením M. Vlčka⁹ zpracoval a úspěšně obhájil disertační práci s názvem „Analýza konstrukčních, statických a proporčních kritérií staveb velkomoravské říše“ [6]. Z jeho analýzy vyplynulo, že výška vnitřního prostoru se pohybovala v hodnotě 1 1/2 modulové kružnice a sklon střešní roviny vychází kolem hodnoty 30°.

Dalším badatelem, který se na Ústavu pozemního stavitelství Stavební fakulty VUT v Brně zabýval hypotetickými rekonstrukcemi je L. Kalousek¹⁰. Pod vedením M. Vlčka vypracoval a obhájil disertační práci na téma „Hypotetické rekonstrukce

⁶ Prof. PhDr. Josef Unger, CSc. (* 11. 9. 1944, Brno) profesor v oboru antropologie, vysokoškolský pedagog na Ústavu antropologie, Přírodovědné fakulty, Masarykovy univerzity v Brně, autor řady odborných článků, publikací a studií, řešitel grantu GAČR, archeolog.

⁷ Ing. Arch. Josef Pošmourný, DrSc. (*1910, † 1974), historik, archeolog, pracovník Archeologického ústavu ČSAV v Brně.

⁸ Ing. Josef Klouda, Ph.D. (*23. 1. 1979) absolvent doktorského studia na Ústavu pozemního stavitelství Stavební fakulty VUT v Brně, v současné době působí v praxi.

⁹ Doc. Ing. Milan Vlček CSc. (*20. 3. 1944) autorizovaný inženýr, pedagog na Ústavu pozemního stavitelství Stavební fakulty VUT v Brně, autor řady učebních a odborných textů zaměřených zejména na rekonstrukce staveb, člen mezinárodní vědeckotechnické společnosti pro sanace a rekonstrukce staveb a péče o památkové objekty, autor mnoha projektů rekonstrukcí historických staveb.

¹⁰ Ing. Lubor Kalousek, Ph.D. (*2. 6. 1980) absolvent doktorského studia na Ústavu pozemního stavitelství Stavební fakulty VUT v Brně, pedagog, autor řady odborných článků a publikací.

sakrálních velkomoravských raně křesťanských staveb“. Analyzuje přes 70 předrománských a raně románských kostelů z oblasti od Velké Moravy přes západní Evropu až po Britské ostrovy. Tato práce má významný přínos především ve vytvoření modulového schématu pro vytyčení velkomoravských kostelů s pravoúhlým nebo lichoběžníkovým kněžištěm a poznatku, že tyto stavby nevychází z žádné známé historické délkové jednotky, ale z obecně proměnného modulu, který je v rámci jedné stavby stejný, avšak u různých staveb odlišný. [7] Jeden z dalších obecně přijímaných konstrukčních principů je poměr zlatého řezu. Hodnota poměru je rovna iracionálnímu číslu:

$$\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,618$$

1.2 Konstrukční analýza

Pro účely konstrukční analýzy lze objekt rozdělit na základovou konstrukci, nosné obvodové zdivo, zastropení a zastřešení. Z archeologických nálezů a stavebně historických průzkumů dochovaných staveb je doloženo, že základové konstrukce románských a předrománských rotund jsou provedeny z lomového kamene rovnaného na sucho nebo ukládaného do hubené vápenné malty anebo malty s hliněným pojivem. Koruna základového zdiva na úrovni terénu byla pevně tmelena vápennou maltou a urovnána. [8] Hloubka založení není u všech staveb spolehlivě zjištěna, respektive je známa pouze u některých staveb. Šířka základové konstrukce je oproti nadzemnímu zdivu rozšířena na obě strany a pohybuje se od 750 mm po 1700 mm. Základové zdivo se od nadzemního liší ve většině případů rozšířením o 50 až 100 mm na jednu nebo obě strany. Hloubka základové spáry je spolehlivě zjištěna zejména u staveb již částečně zaniklých. U staveb dochovaných se většinou základová konstrukce do úrovně základové spáry neobnažuje. Původní úroveň okolního terénu je většinou odvozena od archeologicky zjištěné původní úrovně vnitřní podlahy. Zjištěné hloubky založení se u různých staveb liší a pohybují v rozmezí 700–1400 mm. Rozdíly v hloubce založení byly zjištěny i v rámci jedné stavby. J. Poulík uvádí hloubku založení lodi 140 cm, ale u západní apsidy pouze 120cm od úrovně vnitřní podlahy [3]. Při pokusu o rekonstrukci se také zabývá zatížením základové spáry a vyvozuje z něj maximální možnou výšku stavby. Základovými konstrukcemi velkomoravských staveb se podrobně zabýval ve své práci [6] J. Klouda.

Nadzemní zdivo románských rotund je zděno z kamene na vápennou maltu na římský způsob. Jedná se o techniku zdění, při které jsou líce zdiva prováděny

pomocí kvalitních materiálů a střed zdiva je vyplňován materiálem podřadnějším. V římském stavitelství byly většinou pro líc používány pálené cihly a střed zdiva se vyplňoval lomovým kamenem a zlomky cihel. V našem románském stavitelství byl pro lícové zdivo používán lomový kámen a později i kámen z lícové strany opracovaný. Střed mezi vnitřním a vnějším lícem zdiva byl vyplněn vápennou maltou a drobnějšími kameny vzniklými při opracování kamenů lícových. Tento způsob zdění umožňoval maximální využití materiálu dovezeného na místo stavby. Zdění z lomového kamene bylo zpravidla užíváno u tvrdého a těžko opracovatelného materiálu jako je žula, rula, čedič a jiné tvrdé horniny. Pískovce a opuky se zpravidla opracovávaly a používaly na zdivo kvádrkové.

Pro překlenutí dveřních otvorů byl zpravidla použit kamenný překlad, který byl odlehčen klenutým obloukem nebo méně často byl pouze zaklenut.

Okenní otvory, vedoucí zejména do apsidy, bývají často zaklenuty z opracovaných kamenů a tvoří výrazný prvek fasády. Ostatní okenní otvory bývají klenuty z lomového kamene, ostění jsou vyzděna z lomového kamene nebo z opracovaných kvádrů.

Zastropení lodi rotundy je provedeno kopulí ve tvaru kulové plochy nebo jsou plochostropé. Kopule nese u některých rotund lucernu, která je někdy otevřená do lodi přes okulus. Zastropení apsidy bývá provedeno konchou, což je specifický typ kulové klenby, tvořené kulovou výsečí, která svým půdorysem kopíruje tvar apsidy a tak v některých případech přechází do valené klenby¹¹.

Pro zastřešení románských rotund přichází v úvahu dva základní způsoby provedení. Jedním z nich je uložení krycí vrstvy přímo na upravenou konstrukci kopule. Krycí vrstva mohla být provedena pokládkou kamenných desek přímo na srovnaný rub klenby kopule nebo ji mohla tvořit vápenná mazanina. U rotund dnes můžeme vidět kamenné desky pouze na novodobé rekonstrukci kaple sv. Jiří na Řípu. Druhý způsob je zastřešení dřevěným krovem, na nějž byla položena krytina. V úvahu přicházejí všechny možné historické krytiny s výjimkou pálené tašky, která nebyla archeologicky doložena. Nejpravděpodobnější varianta jsou dřevěné štípané šindele nebo slaměné došky. Do úvahy přichází i štípané břidličné desky, které jsou doloženy na významných gotických stavbách [9].

Další prvek, vyskytující se u rotund méně často je věž, která na loď rotundy naléhá přibližně na západní straně. Věže byly v drtivé většině k rotundám dostavěny dodatečně. Aby bylo možno objasnit původní konstrukční principy a záměry stavitelů, což je v mnoha případech úkol velmi obtížný a předpokládá spolupráci odborníků z několika oborů.

¹¹ Apsida rotundy sv. Václava v Libouni je zaklenuta valenou klenbou.

1.3 Statická analýza

V historii, kdy stavitelé neměli k dispozici prakticky žádný výpočetní aparát, se museli spoléhat na znalosti a zkušenosti předávané z pokolení na pokolení. Dimenzování konstrukcí bylo založeno na empirických vztazích a zejména na zkušenosti a odhadu stavitele. Základy velkomoravských staveb se ve své práci [6] také zabýval J. Klouda.

Zkoumání základových konstrukcí u stojících staveb rotund je omezeno pouze na zaměření koruny základu, která často z vnější strany vystupuje nad okolní terén. Z vnitřní strany jsme u stojících objektů odkázáni na archeologické průzkumy. U objektů zachovaných pouze částečně lze mnohdy korunu základového zdiva spatřit.

Z pohledu statiky je na románských rotundách nejzajímavějším prvkem kopule, která byla rovněž zděna z lomového kamene do vápenné malty.

Co se týká statického působení zděných kopulí, je odborná literatura poměrně skoupá, což je dáno tím, že se tato technologie již dlouho nepoužívá a proto je mezi odbornou veřejností o tuto problematiku malý zájem. Také poměrně složité působení sil v těle kopule, může být důvodem malého zájmu o tuto problematiku. Případné výpočty jsou dnes prováděny ve specializovaném software, kde se namodelují příslušné rozměry a zatížení, ale to je problematika, která zásadně překračuje rozsah i ambice této disertační práce

Na přelomu 20. stol. inženýři a architekti používali k návrhu kopulí metodu založenou na grafické analýze. V roce 1877 publikoval H. T. Eddy¹² speciální grafickou metodu pro analýzu zdiva kopule založenou na polygonu tvořeném tlakovou čarou. Na tuto práci navázalo mnoho následovníků, kteří tuto metodu postupně zpřesňovali. Jednou z variant je tzv. Wolfeho metoda analýzy kopule, založená na silovém polygonu. Z této metody vychází i práce [10] autorky W. Lau, ve které zpřesňuje analýzu sil a odstraňuje některé nedostatky předešlých metod. Její metoda je založena na principu rozdělení kopule na jednotlivé části, pro které je vypočítáno těžiště, zatížení a reakce sil. Z těchto údajů je vynesena tlaková čára, která pro dodržení stability kopule nesmí opustit křivky, vymežující tvar kopule. Metoda umožňuje zohlednit jednak úhel uložení kopule na nosné konstrukce a jednak s ní lze analyzovat i kopule s otevřeným vrchlíkem. Práce W. Lau je zdroj, ze kterého autor disertace čerpal základní informace o působení sil ve zděné kopuli.

¹² Henry T. Eddy, C. E., Ph.D. (*1844 †1921), profesor matematiky a stavebního inženýrství na University of Minnesota, zabýval se analytickou geometrií a výzkumem grafické statiky, autor řady vědeckých a odborných článků.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce volně navazuje na obdobné práce, které vznikly pod vedením doc. Ing. Milana Vlčka, CSc. na ústavu pozemního stavitelství a zabývaly se jinými typy sakrálních staveb z období raného středověku. Jedná se o práce [6] J. Kloudy a [7] L. Kalouska, kteří se zabývali velkomoravskými podélnými kostely. Proto i tato práce se zabývá podobnými otázkami a klade si obdobné cíle, mezi které patří potvrzení, případně vyvrácení některých hypotéz, které vznikají při zkoumání předrománských a románských rotund. Práce je rozdělena do třech tematických celků, které jsou popsány níže:

- V odborné literatuře je uváděna řada pravidel a proporčních kánonů, u kterých se předpokládá, že byly při plánování a vytyčování těchto sakrálních staveb staviteli používány. Jedná se zejména o hypotetické rekonstrukce a předpokládané principy J. Pošmourného, J. Poulíka a L. J. Konečného. Většinou jsou však aplikovány pouze na jednu konkrétní stavbu, případně na malou skupinku staveb. Cílem práce je zaměřit základní rozměry zkoumaných objektů a následně upřesnit a ověřit předpokládané proporční metody na objektech předrománských a románských rotund a potvrdit nebo vyvrátit jejich užití a platnost v obecné rovině nebo alespoň pro skupinu těchto staveb. Výsledky proporční analýzy budou použity pro hypotetické rekonstrukce rotund, které se dochovaly pouze částečně.
- Cílem této části disertace je ověřit některé předpokládané stavební postupy, které jsou diskutovány v odborné literatuře, případně nabídnout alternativu. Příkladem může být diskuse, která se vedla kolem kůlových jamek nalezených ve znojenské rotundě a hypotéza o dvou stavebních fázích při její výstavbě. S tím úzce souvisí problematika způsobu bednění a provedení kopule, případně provádění samotné stavby, která bude rovněž v rámci práce řešena.
- Statická analýza má nastínit zejména základní statické principy, se kterými tehdejší stavitelé pracovali. První otázkou, na kterou je hledána v této souvislosti odpověď, je způsob založení stavby z pohledu únosnosti zeminy. Široké pole nabízí z hlediska statiky konstrukce kopule. Problematika statiky kopule je natolik složitá, že dalece přesahuje rozsah této práce i ambice autora a je to spíše téma pro odborníky z oboru statiky. Proto se kopulí budu zabývat pouze v kontextu její základní statické funkce.

3 METODY DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce se svým zaměřením na předrománské a románské rotundy zabývá stavební tvorbou, která byla zpracovávána zejména historiky, historiky umění a archeology. Z tohoto pohledu je toto téma do značné míry mezioborové a vyžaduje seznámení se s poznatky z těchto oborů, aby bylo možno vnímat problematiku v širším kontextu. Dále bylo potřeba se seznámit s historickými stavebními postupy a také se samotnými stavbami. Z uvedených skutečností vychází i použitá metodika, kterou lze shrnout do následujících bodů:

- seznámení se s problematikou, studium literatury a dostupných pramenů
- vypracování metodiky průzkumu
- průzkum staveb v terénu
- proporční rozbor, analýza a aplikace stávajících hypotéz
- konstrukční analýza, rozbor stávajících hypotéz
- statická analýza, hledání vhodných metod, vyhodnocení
- zhodnocení a vzájemné srovnání výsledků

Seznámení se s problematikou probíhalo zejména prostřednictvím dostupné literatury. Dobrým vodítkem bylo studium disertačních prací, viz [6] a [7], mých předchůdců, které jsem zmínil již v předešlém textu.

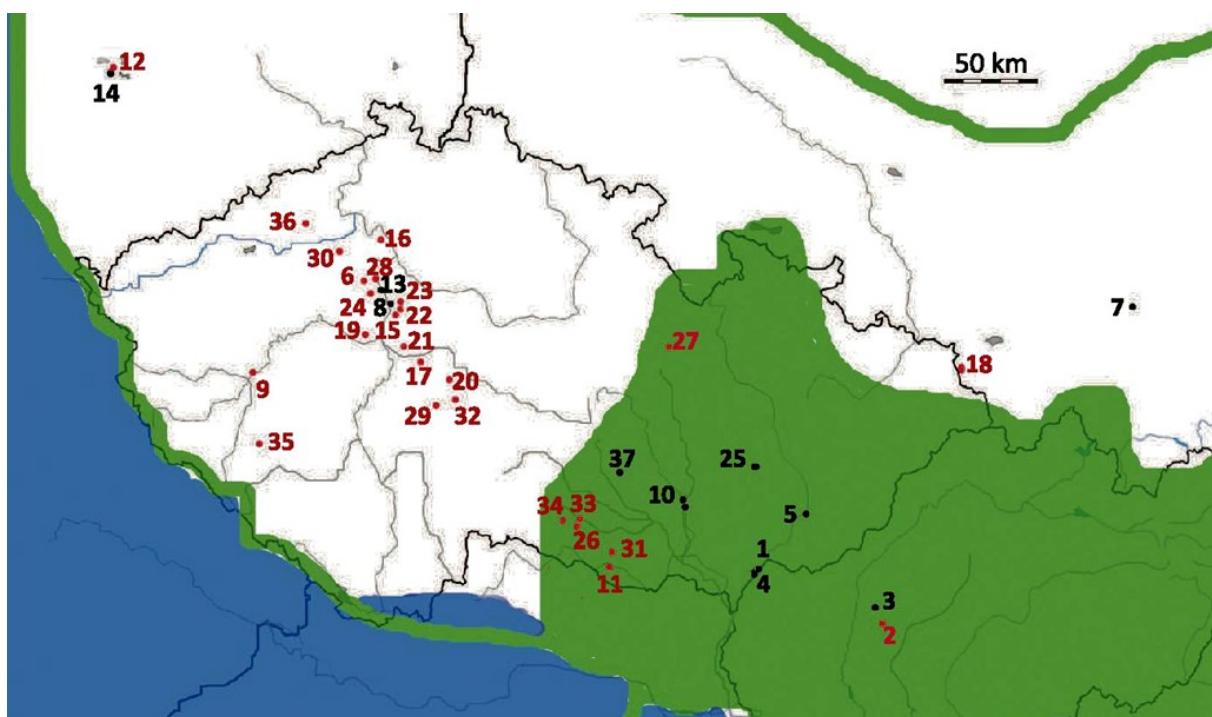
Po shromáždění údajů z dostupné literatury a jejich vyhodnocení bylo zřejmé, že pro získání dat k proporční a konstrukční analýze bude nezbytné prozkoumat objekty in situ. Po prvotních návštěvách a zaměření objektů a pokusu o grafické zpracování vyvstala potřeba vypracovat metodiku zaměření, aby byl zajištěn jednotný a jednoznačný způsob měření a následné interpretace naměřených hodnot. Měření bylo prováděno standardními přístroji, laserovým měřičem vzdáleností Bosch PLR 30 a běžným svinovacím metrem.

Proporční rozbor představoval jednak úpravu proporčních hypotéz do podoby použitelné pro tabulkové zpracování a následnou aplikaci na naměřené hodnoty a po té samotné vyhodnocení výsledků analýzy.

Samostatnou částí je rekonstrukce půdorysu z archeologických výzkumů, kdy je potřeba z půdorysného zákresu nálezové situace nalézt a vykreslit zidealizovaný půdorys, který by co nejlépe vystihoval pravděpodobný záměr stavitele. Použitá metoda vychází z předpokladu, že hledaná ideální hranice protíná stejnou měrou zdivo i přilehlou zeminu, tedy že nepřesnosti provedení jsou rozprostřeny stejnoměrně na obě strany od ideální linie zdiva.

Při konstrukční analýze bylo potřeba nejprve shromáždit dostupné informace, definovat nejasnosti, případně sporná místa doposud publikovaných hypotéz. Vzhledem k tomu, že se jedná o konstrukce z 9. až 13. století, jsou informace o používaných technologických postupech značně nejasné a jsou vázány na mnoho faktorů, které jsou ovlivněny historickými souvislostmi. Další skupina poznatků pramení z archeologických výzkumů a jejich interpretace. Mnohdy však byly výzkumy prováděny v několika fázích různými badateli a někdy i s rozdílnými interpretacemi nálezové situace. Následně bylo nutno sporné informace analyzovat, vyhodnotit a pokusit se nalézt způsob řešení, který by odpovídal historickým postupům provádění staveb. Konstrukční analýza se také zabývala možnými účely kůlových jamek, o kterých se také vedla diskuse mezi odborníky. Pro tuto část byla použita metoda grafického porovnávání dílčích výstupů různých odborných prací a z takto získaného výsledku pak formulovány nové poznatky.

Analýza statických poměrů předrománských a románských rotund se omezuje pouze na základové konstrukce a únosnost stěn. Z toho také plynou použité metody, které využívají běžné výpočetní postupy.

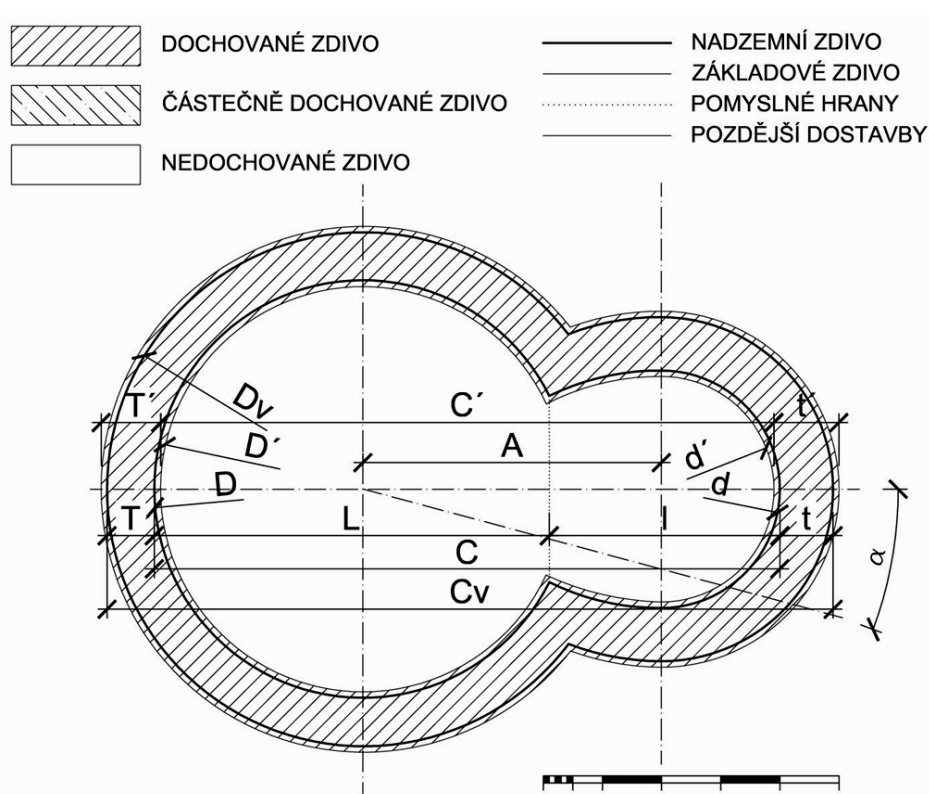


Obr. 1 – Střední Evropa v roce 870, Východofrancká říše je označena modře, Velká Morava za vlády Rastislava zeleně, zelená linie označuje hranice Velkomoravské říše po expanzi Svatopluka I. (894) [25]. Zkoumané objekty jsou číslovány podle stáří. Červeně jsou označeny rotundy zachovalé, černě zaniklé nebo částečně zaniklé.

4 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

4.1 Proporční analýza

Základní rozměry sledované v proporční analýze jsou seřazeny v přehledové tabulce tab. 1. Objekty jsou řazeny dle předpokládaného století vzniku. Jednotlivé sledované půdorysné rozměry jsou označeny dle obr. 2, následujícím způsobem: D - vnitřní průměr nadzemního zdiva loď, D' - vnitřní průměr základového zdiva loď, d - vnitřní průměr nadzemního zdiva apsidy, d' - vnitřní průměr základového zdiva apsidy, C - délka vnitřního prostoru nadzemního zdiva, C' - délka vnitřního prostoru základového zdiva, T tloušťka zdiva loď, T' - tloušťka zdiva základové konstrukce loď, t - tloušťka zdiva apsidy, t' - tloušťka základového zdiva apsidy, α - úhel mezi orientací osy kostela a východem.



Obr. 2 – Způsob značení a kótování jednotlivých objektů.

Tab. 1 – Rozměry zkoumaných objektů.

mapové číslo		zachovanost		Rozměry nadzemní konstrukce				rozměry v [mm]							
				strop	úhel α	lod'			apsida				l	i	A
						D	Δ	T	d	>	t				
Název rotundy				stoleť											
1	N	Valy u Mikulčic – Těšetický les- dvouapsidová	9	-12	7590		800	4050		640	11630	7270	4360	5820	
3	N	Ducové (neznámé zasvěcení)	9	-31	7230		750	3750		750	10850	6960	3890	5360	
5	N	Staré Město (U. H.) – Na dědině (sv. Michala)	9	0	7070		1000	4590		850	10670	6760	3900	4630	
6	Z	Budeč (sv. Petra a Pavla)	o	10	-21	8370	11990	990	3980	900	12790	8200	4570	6610	
9	Z	Starý Pízenec (sv. Petra)	x	10	-23	6440		940	2360	5830	8200	6150	2050	3802	
10	N	Staré Brno (P. Marie)	11	-26	6130		650	3080		650	7950	5700	2350	3440	
11	Z	Znojmo (Nanebevzetí P. Marie a sv. Kateřiny)	o	11	-18	6890	9800	1100	3720	5690	1100	10060	6520	3540	4750
12	Z	Lipsko,Knautnaundorf, s. Andreas	11	0	6100		1070	3860		1050	9060	5450	3610	4080	
13	N	Levý Hradec (sv. Klimenta)	11	-26	4970		1290	2530		1190	7200	4770	2430	3450	
15	Z	Praha 1 – Vyšehrad (sv. Martina)	o	11	-21	6630	9790	970	3470	6770	8930	6060	2870	3880	
16	Z	Říp (sv. Jiří)		11	1	6410	9920	1080	3410	5780	9110	5840	3270	4200	
17	Z	Týnec nad Sázavou (sv. Václava)	o	11	-13	6310	9930	1450	3450	6100	9240	5880	3360	4360	
18	Z	Těšín (sv. Mikolaj)	11	15	6830		1300	2920		1200	9550	6500	3050	4680	
19	Z	Dobřichovice (Karlík) (sv. Martina)	o	12	-16	6560	9720	1250	3370	6340	8450	6040	2410	3480	
21	Z	Kostelec u Křižků (sv. Martina)	o	12	6	4860		1020	4020		6810	3960	2850	2450	
22	Z	Praha 1 – Nové Město (sv. Longina)	o	12	-15	4870	8240	900	3070		6790	4470	2310	2820	
23	Z	Praha 1 – Staré Město (sv. Kříže Menšího)	o	12	-13	6530	9360	1150	3670	5350	8890	5920	2950	3770	
24	Z	Přední Kopanina (sv. Maří Magdalény)	o	12	-30	5340	10380	930	2780	6140	7000	4830	2170	2940	
25	N	Pustiměř (sv. Pantaleona)		12	-10	8510		1100	4490		11180	7980	3200	4680	
27	Z	Česká Třebová (sv. Kateřiny)	x	13	6	7230	6460	1140	3540	5820	9370	6890	2480	3980	
28	Z	Holubice (Narození P. Marie)	o	13	-30	5380	8240	980	3650	5270	7680	4890	2800	3170	
29	Z	Libouň (sv. Václava)	o	13	-23	7170	7520	1330	3470	5790	10060	6730	3330	4740	
30	Z	Lukov (sv. Jiří)	x	13	-3	4670		970	3080	4470	6620	4270	2350	2740	
31	Z	Plaveč (Nanebevzetí P. Marie)	o	13	5	6790	8860	1270	3360	5620	9640	6350	3300	4570	
32	Z	Pravonín (sv. Jana Křtitele)	o	13	-7	9720	10350	1230	5910	9470	12510	9030	3480	4680	
33	Z	Šebkovice (sv. Maří Magdalény)	o	13	25	7060	7120	1290	4400	5300	810	11140	4260	5240	
34	Z	Štěpkov (sv. Václava)	o	13	30	5180	7800	1600	4400	5280	1200	7850	4360	3060	
35	Z	Zborovy (sv. Jana Křtitele)	o	13	13	7280	8880	1350	2490	4870	850	13640	6550	8750	
36	Z	Želkovice (sv. Petra a Pavla)	o	13	12	5410	10500	1450	3400	6880	1220	6940	2090	2530	

4.1.1 Analýza možného užití historických jednotek

Jak již bylo řečeno v přehledu, základní otázka při hypotetických rekonstrukcích, která se v odborné literatuře objevuje, je použití délkových historických jednotek. Nejčastěji uvažovanou jednotkou, která bývala užívána, je římská stopa, jejíž délka má velikost 1 římská stopa = 295,7 mm, viz [7], [6], v pořadí druhou nejčastěji uváděnou jednotkou je karolínská stopa s délkou 1 karolínská stopa = 333 mm [7], třetí je langobardská stopa, 1 langobardská stopa = 430 mm¹³ [12], [7].

Samotné vyhodnocení, zda byla jednotka užitá, se opírá o předpoklad, že pokud byla jednotka užívána, řídily se rozměry stavby násobky této jednotky. Z naměřených údajů byl proveden výpočet směrodatné odchylky naměřených hodnot pro jednotlivé objekty a z těchto hodnot byla získána směrodatná odchylka, která charakterizuje obecnou hodnotu rozptylu, ve kterém se naměřené hodnoty pohybují. Protože při použití laserového měřidla se přesnost měření pohybuje v řádu milimetrů, představuje vypočtená hodnota směrodatné odchylky $S = 35,0$ mm, zejména odchylku přesnosti vytyčení a provedení stavby.

S přihlédnutím k ostatním vlivům, které se mohou na rozdíl mezi záměrem a skutečným provedením stavby podílet, byla pro vyhodnocení užití jednotky k vypočtené hodnotě odchylky připočtena přírážka ve výši 100 %, označená $S_{100} = S \times 2 = 70,4$ mm, kterou autor disertace považuje za hraniční. Kritérium S_{100} bylo použito pro vyhodnocení všech rozměrů s výjimkou tloušťky stěn, kde byla s přihlédnutím k velikosti zkoumané míry použita přírážka pouze 50 % a hodnota kritéria je $S_{50} = S \times 1,5 = 52,5$ mm.

Analýza byla zpracována do dvou tabulek. Zvlášť pro nadzemní zdivo a zvlášť pro základové zdivo. Hodnoty, které splňují kritérium pro užití historické jednotky, jsou vyznačeny v tabulce barevně. Oranžová barva značí shodu s římskou stopou, zelená barva s karolínskou stopou a modrá barva s langobardskou stopou.

Za možné užití jednotky je považováno, pokud je splněno kritérium alespoň pro hlavní loď a apsidu nebo hlavní loď a celkovou vnitřní délku. Splnění kritéria je v krajním sloupci tabulky vyznačeno barevnou výplní pro nadzemní zdivo a znakem „X“ pro základové zdivo.

¹³ Velikost langobardské stopy byla brána 430 m viz [12], ale v odborné literatuře je možno nalézt i délku 365mm, kterou A. Ruttkay uvádí v souvislosti s rotundou v Ducovém u Piešťan [21] a rotundou sv. Juraja v Nitranske Blatnici. Důvod nesouladu těchto údajů, prezentovaných předními odborníky, se autorovi disertace nepodařilo zjistit.

Tab. 2 – Analýza užití historických jednotek, nadzemní konstrukce.

mapové číslo		zachovanost		Název rotundy		století		Analýza užití historických jednotek nadzemní konstrukce						apsida						kostel						vyhodnocení shody	
								loď			T (tloušťka zdiva)			d (průměr)			t (tloušťka zdiva)			C (délka)							
								D (průměr)	mm	ks.	ls.	T (tloušťka zdiva)	mm	ks.	ls.	d (průměr)	mm	ks.	ls.	t (tloušťka zdiva)	mm	ks.	ls.	C (délka)	mm		
1	N	Valy u Mikulčic – Těšetický les- dvouapsidová	9	7590	25,7	22,8	17,7	800	2,7	2,4	1,9	4050	13,7	12,2	9,4	640	2,2	1,9	1,5	11630	39,3	34,9	27,0	X			
3	N	Ducové	9	7230	24,5	21,7	16,8	750	2,5	2,3	1,7	3750	12,7	11,3	8,7	750	2,5	2,3	1,7	10850	36,7	32,6	25,2	X	X		
5	N	Staré Město (U. H.) – Na dědině (sv. Michala)	9	7070	23,9	21,2	16,4	1000	3,4	3,0	2,3	4590	15,5	13,8	10,7	850	2,9	2,6	2,0	10670	36,1	32,0	24,8	X			
6	Z	Budeč (sv. Petra a Pavla)	10	8370	28,3	25,1	19,5	990	3,3	3,0	2,3	3980	13,5	12,0	9,3	900	3,0	2,7	2,1	12790	43,3	38,4	29,7				
9	N	Staré Brno (P. Marie)	11	6130	20,7	18,4	14,3	650	2,2	2,0	1,5	3080	10,4	9,2	7,2	650	2,2	2,0	1,5	7950	26,9	23,9	18,5	X			
10	Z	Znojmo (Nanebevzetí P. Marie a sv. Kateřiny)	11	6890	23,3	20,7	16,0	1100	3,7	3,3	2,6	3720	12,6	11,2	8,7	1100	3,7	3,3	2,6	10060	34,0	30,2	23,4				
11	Z	Starý Pízenec (sv. Petra)	10	6440	21,8	19,3	15,0	940	3,2	2,8	2,2	2360	8,0	7,1	5,5	940	3,2	2,8	2,2	8200	27,7	24,6	19,1	X			
12	Z	Lipsko, Knautnaundorf, (S. Andreas)	11	6100	20,6	18,3	14,2	1070	3,6	3,2	2,5	3860	13,1	11,6	9,0	1050	3,6	3,2	2,4	9060	30,6	27,2	21,1	X			
13	N	Levý Hradec (sv. Klimenta)	11	4970	16,8	14,9	11,6	1290	4,4	3,9	3,0	2530	8,6	7,6	5,9	1190	4,0	3,6	2,8	7200	24,3	21,6	16,7	X			
15	Z	Praha 1 – Vyšehrad (sv. Martina)	11	6630	22,4	19,9	15,4	970	3,3	2,9	2,3	3470	11,7	10,4	8,1	970	3,3	2,9	2,3	8930	30,2	26,8	20,8				
16	Z	Říp (sv. Jiří)	11	6410	21,7	19,2	14,9	1080	3,7	3,2	2,5	3410	11,5	10,2	7,9	980	3,3	2,9	2,3	9110	30,8	27,4	21,2	X			
17	Z	Týnec nad Sázavou (sv. Václava)	11	6310	21,3	18,9	14,7	1450	4,9	4,4	3,4	3450	11,7	10,4	8,0	1450	4,9	4,4	3,4	9240	31,2	27,7	21,5				
18	Z	Třešín (sv. Mikolaj)	11	6830	23,1	20,5	15,9	1300	4,4	3,9	3,0	2920	9,9	8,8	6,8	1200	4,1	3,6	2,8	9550	32,3	28,7	22,2	X			
19	Z	Dobřichovice (Karlik) (sv. Martina)	12	6560	22,2	19,7	15,3	1250	4,2	3,8	2,9	3370	11,4	10,1	7,8	1250	4,2	3,8	2,9	8450	28,6	25,4	19,7				
20	Z	Hradešín (sv. Jiří)	12	4990	16,9	15,0	11,6	890	3,0	2,7	2,1											0,5	0,5				
21	Z	Kostelec u Křižků (sv. Martina)	12	4860	16,4	14,6	11,3	1020	3,4	3,1	2,4	4020	13,6	12,1	9,3	1020	3,4	3,1	2,4	6810	23,0	20,5	15,8	X	X		
22	Z	Praha 1 – Nové Město (sv. Longina)	12	4870	16,5	14,6	11,3	900	3,0	2,7	2,1	3070	10,4	9,2	7,1	900	3,0	2,7	2,1	6790	23,0	20,4	15,8	X			
23	Z	Praha 1 – Staré Město (sv. Kříže Menšího)	12	6530	22,1	19,6	15,2	1150	3,9	3,5	2,7	3670	12,4	11,0	8,5	990	3,3	3,0	2,3	8890	30,1	26,7	20,7	X			
24	Z	Přední Kopanina (sv. Marii Magdalény)	12	5340	18,1	16,0	12,4	930	3,1	2,8	2,2	2780	9,4	8,3	6,5	930	3,1	2,8	2,2	7000	23,7	21,0	16,3	X			
25	N	Pustiměř (sv. Pantaleona)	12	8510	28,8	25,6	19,8	1100	3,7	3,3	2,6	4490	15,2	13,5	10,4	1020	3,4	3,1	2,4	11180	37,8	33,6	26,0	X	X		
26	Z	Častohostice (sv. Barbory)	13	5400	18,3	16,2	12,6	1600	5,4	4,8	3,7											0,5	0,5				
27	Z	Česká Třebová (sv. Kateřiny)	13	7230	24,5	21,7	16,8	1140	3,9	3,4	2,7	3540	12,0	10,6	8,2	1140	3,9	3,4	2,7	9370	31,7	28,1	21,8	X			
28	Z	Holubice (Narození P. Marie)	13	5380	18,2	16,2	12,5	980	3,3	2,9	2,3	3650	12,3	11,0	8,5	970	3,3	2,9	2,3	7680	26,0	23,1	17,9	X			
29	Z	Libouň (sv. Václava)	13	7170	24,2	21,5	16,7	1330	4,5	4,0	3,1	3470	11,7	10,4	8,1	1330	4,5	4,0	3,1	10060	34,0	30,2	23,4	X			
30	Z	Lukov (sv. Jiří)	13	4670	15,8	14,0	10,9	970	3,3	2,9	2,3	3080	10,4	9,2	7,2	1000	3,4	3,0	2,3	6620	22,4	19,9	15,4	X	X		
31	Z	Plaveč (Nanebevzetí P. Marie)	13	6790	23,0	20,4	15,8	1270	4,3	3,8	3,0	3360	11,4	10,1	7,8	1270	4,3	3,8	3,0	9640	32,6	28,9	22,4				
32	Z	Pravonín (sv. Jana Křtitele)	13	9720	32,9	29,2	22,6	1230	4,2	3,7	2,9	5910	20,0	17,7	13,7	1240	4,2	3,7	2,9	12510	42,3	37,6	29,1				
33	Z	Šebkovice (sv. Marii Magdalény)	13	7060	23,9	21,2	16,4	1290	4,4	3,9	3,0	4400	14,9	13,2	10,2	810	2,7	2,4	1,9	11140	37,7	33,5	25,9	X			
34	Z	Štěpkov (sv. Václava)	13	5180	17,5	15,6	12,0	1600	5,4	4,8	3,7	4400	14,9	13,2	10,2	1200	4,1	3,6	2,8	7850	26,5	23,6	18,3	X	X		
35	Z	Zborovy (sv. Jana Křtitele)	13	7280	24,6	21,9	16,9	1350	4,6	4,1	3,1	2490	8,4	7,5	5,8	850	2,9	2,6	2,0	13640	46,1	41,0	31,7				
36	Z	Želkovice (sv. Petra a Pavla)	13	5410	18,3	16,2	12,6	1450	4,9	4,4	3,4	3400	11,5	10,2	7,9	1220	4,1	3,7	2,8	6940	23,5	20,8	16,1				

Celkové vyhodnocení užití historických jednotek

Výše uvedené výsledky analýzy svědčí o tom, že uvažované jednotky nebyly při výstavbě sledovaných objektů běžně používány, ale v některých jednotlivých případech nelze jejich užití vyloučit. Z celkového počtu zkoumaných objektů lze podle zkoumaných kritérií předpokládat užití historických jednotek u sedmi objektů, u kterých kritériím vyhovovaly minimálně tři zkoumané rozměry.

Nejmenší výskyt shody se zadanými kritérii je u langobardské stopy. Nízký výskyt shody kritérií u langobardské stopy potvrzuje názor mnoha odborníků [12], že tato jednotka, o jejíž existenci chybí písemné záznamy, je spíše fiktivní, smyšlenou veličinou a u zkoumaného typu objektů užívána nebyla.

U dalších dvou zkoumaných jednotek je výskyt u tří hlavních rozměrů častější a přes to, že analýza nepotvrdila jejich běžné užívání, u několika objektů je předpoklad jejich užití znatelně vyšší. Zejména rotunda v Ducové svými rozměry základového zdiva D':d':C' hodnotě 24:12:36 ř.s. splňuje také hypotézy o užití křesťanské symboliky při výstavbě těchto sakrálních staveb.

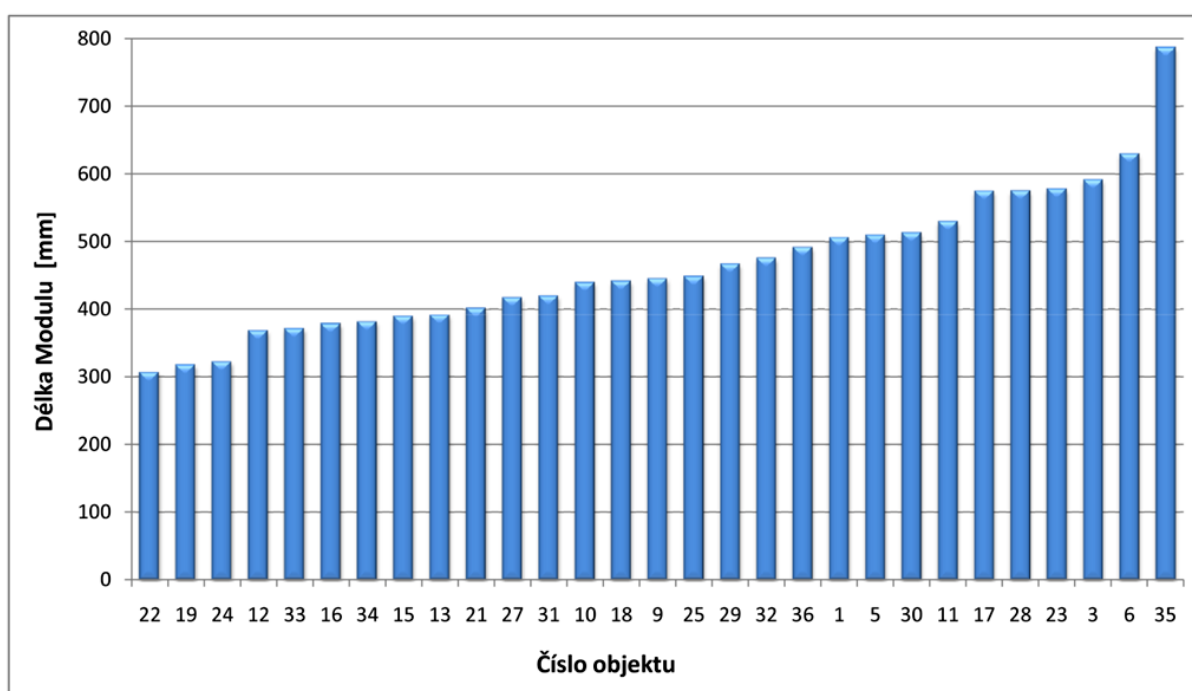
Další zajímavý poznatek je, že ze sedmi objektů je předpoklad užití římské nebo karolínské stopy v šesti případech u základového zdiva. Toto zjištění by mohlo naznačovat, že používaný kánon při vytyčování staveb byl používán u základového zdiva a nadzemní zdivo plynulo z rozměrů základů.

4.1.2 Analýza užití obecného modulu

Výsledky analýzy užití historických jednotek prokazují, že nebyly při vytyčování staveb užívány, proto je zkoumána hypotéza L. Kalouska o používání obecného modulu při vytyčování staveb, jedinečného pro každý objekt. Pokud vycházíme z myšlenky, že rozměry stavby byly konstruovány pomocí nějaké základní jednotky, kterou mohla být nějaká tyč, prkno, nebo podobný etalon, měly by hlavní rozměry stavby obsahovat celé násobky této jednotky. Další předpoklad je, že obdobně jako jiné historické jednotky i tato jednotka vycházela z nějakého rozměru lidského těla. Pravděpodobně to tedy bude délka stopy či kroku. Hodnota jednotky by se tedy měla pohybovat v rozmezí 250 mm až 750 mm. Pro analýzu je použit stejný rozptyl hodnot, jako při analýze použití historických jednotek, o hodnotě $S_{100}=70,4$ mm, s výjimkou případů, kdy hodnota zkoumaného modulu poklesne pod 280 mm, v tom případě bude použit menší rozptyl $S_{70}=59,8$ mm.

Při analýze budeme předpokládat, že tloušťka zdiva T je násobkem modulu M dle následujícího vztahu: $T \approx M * X$, kde $X = \{2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5\}$. Dále je předpokládáno, že průměr apsidy je celým násobkem modulu M a $d \approx M * X$, kde $X = \{5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14\}$. Zvolená řada vychází z předpokládaného

rozpětí hodnot, které může modul nabýt a známých průměrů apsidy. Kritériem pro vyhodnocení je, že velikosti modulu odpovídá průměr lodě, průměr apsidy a celkové délky vnitřního prostoru. U většiny objektů bylo nalezeno více hodnot modulu, které vyhoví zadaným kritériím. Pro vyhodnocení byl použit vždy největší nalezený modul. Výsledné nalezené moduly a rozměry stavby v modulech jsou zpracovány v tab. 4. Grafické znázornění velikostí modulů jednotlivých objektů je zobrazeno na obr. 3, kde jsou objekty seřazeny vzestupně, podle velikosti nalezeného modulu. Z grafu je zřejmé, že velikosti nalezených modulů jsou poměrně rovnoměrně rozděleny, i když lze nalézt několik hodnot, kolem kterých se modul určité skupiny hodnot pohybuje. Tuto blízkost hodnot by bylo možno zkoumat spíše v historických souvislostech mezi jednotlivými objekty, než v souvislostech technických.

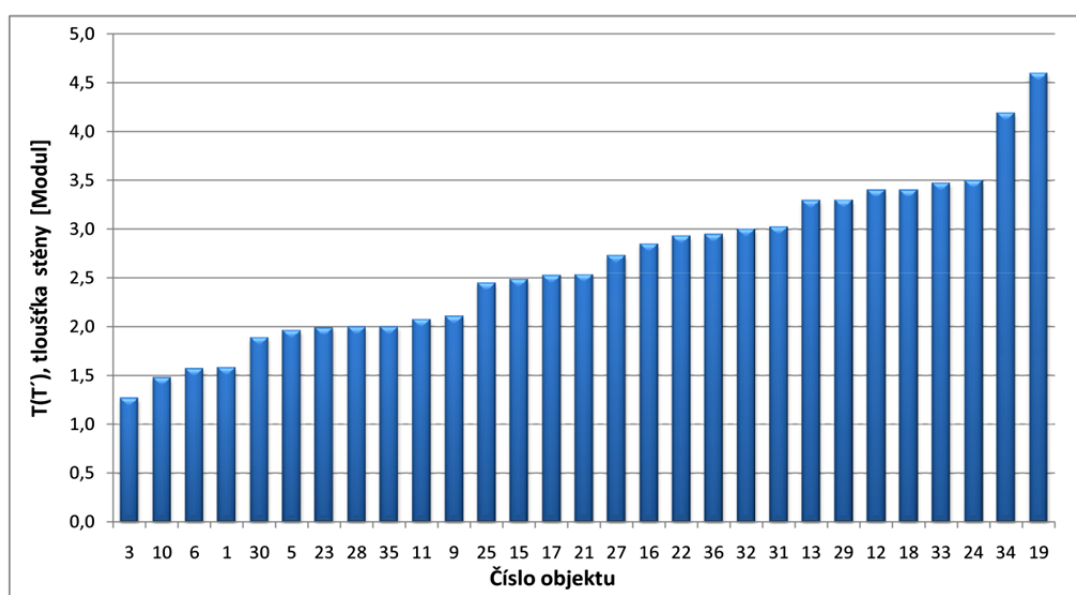


Obr. 3 – Graf hodnot nalezených konstrukčních modulů.

Zajímavý výsledek analýzy vyjadřuje graf na obr. 4, který znázorňuje tloušťky stěn, přepočtené na moduly. Z rozložení hodnot lze vysledovat častý výskyt kolem hodnot modulu $M \approx 2$; $M \approx 2,5$; $M \approx 3$ a $M \approx 3,5$ což by mohlo naznačovat nějaké pravidlo při dimenzování tloušťky zdiva. Vztahovat tloušťku zdiva pouze k modulu, bez ohledu na ostatní rozměry stavby by bylo nelogické, proto lze předpokládat souvislost tloušťky zdiva i k ostatním rozměrům stavby. Tento výsledek naznačuje, že nalezené moduly by mohly odpovídat původnímu záměru stavitele při vytyčování stavby.

Tab. 4 – Rozměry rotund v modulech.

Rozměry rotund v Modulech								
mapové číslo	zachovanost	Název rotundy	století	D (D')	T (T')	d (d')	C (C')	Modul
22	Z	Praha 1 – Nové Město (sv. Longina)	12	16	2,9	10	22	307
19	Z	Dobřichovice (Karlík) (sv. Martina)	12	20	4,6	10	26	318
24	Z	Přední Kopanina (sv. Maří Magdalény)	12	16	3,5	8	21	323
12	Z	Lipsko, Knautnaundorf (S. Andreas)	11	16	3,4	10	24	369
33	Z	Šebkovice (sv. Maří Magdalény)	13	19	3,5	12	30	372
16	Z	Říp (sv. Jiří)	11	17	2,9	9	24	379
34	Z	Štěpkov (sv. Václava)	13	13	4,2	11	20	382
15	Z	Praha 1 – Vyšehrad (sv. Martina)	11	17	2,5	9	23	390
13	N	Levý Hradec (sv. Klimenta)	11	12	3,3	6	18	392
21	Z	Kostelec u Křížků (sv. Martina)	12	12	2,5	10	17	402
27	Z	Česká Třebová (sv. Kateřiny)	13	17	2,7	8	22	418
31	Z	Plaveč (Nanebevzetí P. Marie)	13	16	3,0	8	23	420
10	N	Staré Brno (P. Marie)	11	14	1,5	7	18	440
18	Z	Těšín (sv. Mikolaj)	11	15	3,4	6	21	442
9	Z	Starý Plzenec (sv. Petra)	10	14	2,1	5	18	446
25	N	Pustiměř (sv. Pantaleona)	12	19	2,4	10	25	449
29	Z	Libouň (sv. Václava)	13	15	3,3	7	21	467
32	Z	Pravonín (sv. Jana Křtitele)	13	20	3,0	12	26	476
36	Z	Želkovice (sv. Petra a Pavla)	13	11	2,9	7	14	492
1	N	Valy u Mikulčic – Těšetický les- dvouapsidová	9	15	1,6	8	23	506
5	N	Staré Město (U. H.) – Na dědině (sv. Michala)	9	14	2,0	9	21	510
30	Z	Lukov (sv. Jiří)	13	9	1,9	6	13	513
11	Z	Znojmo (Nanebevzetí P. Marie a sv. Kateřiny)	11	13	2,1	7	19	530
17	Z	Týnec nad Sázavou (sv. Václava)	11	11	2,5	6	16	575
28	Z	Holubice (Narození P. Marie)	13	9	2,0	6	13	576
23	Z	Praha 1 – Staré Město (sv. Kříže Menšího)	12	11	2,0	6	15	578
3	N	Ducové	9	12	1,3	6	18	592
6	Z	Budeč (sv. Petra a Pavla)	10	13	1,6	6	20	630
35	Z	Zborovy (sv. Jana Křtitele)	13	9	2,0	3	17	787



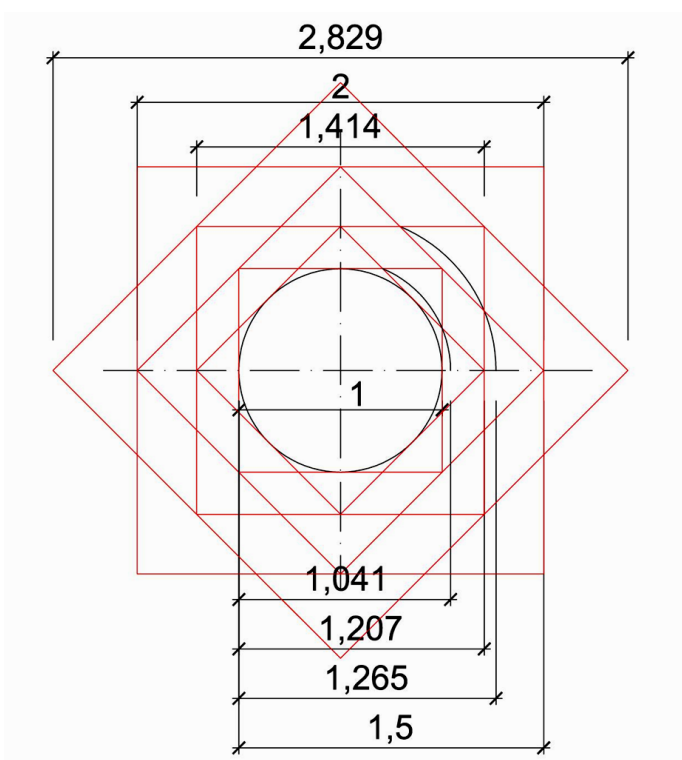
Obr. 4 – Graf hodnot tloušťky stěn, vyjádřené v modulech.

4.1.3 Analýza užití grafických proporčních metod

Zkoumáním grafických metod dimenzování předrománských a románských rotund bylo zjištěno, že nebyla striktně používána žádná metoda, která by odpovídala půdorysu zkoumaných objektů. Velmi často se však u rotund vyskytují poměry odpovídající principu kvadratury, který je uveden na obr. 5. Tento obrazec je třeba chápat jako jakýsi etalon, který po přiložení na zkoumaný objekt ve správném poměru, ukáže shodné rozměry s tímto principem. Princip kvadratury je často uvažován zejména v zahraniční literatuře u gotických staveb, viz [13]. Samotná geometrická aplikace je proveditelná pouhým kružítkem a následně v terénu pomocí provázku.

Aplikace na jednotlivé objekty je uvedena v příloze disertační práce. Za řídicí rozměr je uvažován vnitřní nebo vnější průměr loď. Velmi výrazná shoda s principem kvadratury je nalezena u rozměrů tloušťek stěn. Často je také shoda v celkové délce loď, rozměru apsidy, případně ose apsidy.

Tyto časté shody s principem kvadratury naznačují, že tehdejší stavitelé při navrhování a dimenzování předrománských a románských rotund používali geometrické principy, které mohly být později v gotice propracovány a zpřesněny do podoby kvadratury.



Obr. 5 – Poměry tvořené pomocí kvadratury.

4.1.4 Analýza vertikálních proporcí

Podklady pro vertikální analýzu jsou mnohem skromnější, protože značná část rotund se zachovala pouze torzálně a z těch, které jsou doposud funkční, byla velká část přestavěna tak, že informace o vertikálních proporcích byly ztraceny, nebo je při běžném zaměření nebylo možno získat. Jedná se zejména o stavební úpravy v podobě odbourání apsidy a nahrazení kopule plochým stropem. Počet rotund, vhodných pro vertikální analýzu, se tak zredukoval na pouhých 12 objektů. Uvedené výškové rozměry jsou vztaženy ke zjištěné úrovni původní podlahy.

Hypotézy zkoumané v této části práce zformuloval L. J. Konečný v [4], kde ale uvádí modulové schéma platné pouze pro znojenskou rotundu. Tato práce se bude zabývat ověřením tohoto schématu a jeho obecnou platností.

Obdobnou hypotézu pro výškové proporce velkomoravských kostelů také zformuloval J. Pošmourný a upřesnil ji ve své práci [6] J. Klouda, který původní úvahu o výšce vnitřního prostoru o velikosti dvě modulové kružnice, zredukoval na výšku jeden a půl modulové kružnice. Oba autoři odvozovali průměr modulové kružnice od průměru kněžiště.

Značení jednotlivých poměrů je obdobné jak v ostatních případech a vychází ze značení dle obr. 2. Pro ověření výše uvedených hypotéz u vertikálních rozměrů, jsou vertikální rozměry porovnány s příslušnými půdorysnými rozměry v tabulce tab. 5.

Tab. 5 – Zkoumané poměry rozměrů jednotlivých konstrukcí.

Vertikální rozměry nadzemní konstrukce				zkoumané poměry					
mapové číslo	zachovanost	Název rotundy	století	V/d	V/D	V/C	v/d	v/D	R/X
6	Z	Budeč (sv. Petra a Pavla)	10	3,01	1,43	0,94			
11	Z	Znojmo (Nanebevzetí P. Marie a sv. Kateřiny)	11	2,63	1,42	0,97	1,53	0,83	1,02
15	Z	Praha 1 – Vyšehrad (sv. Martina)	11	2,82	1,48	1,10	1,95	1,02	0,77
17	Z	Týnec nad Sázavou (sv. Václava)	11	2,88	1,57	1,07	1,77	0,97	0,91
19	Z	Dobřichovice (Karlík) (sv. Martina)	12	2,88	1,48	1,15	1,88	0,97	0,75
23	Z	Praha 1 – Staré Město (sv. Kříže Menšího)	12	2,55	1,43	1,05	1,46	0,82	0,94
24	Z	Přední Kopanina (sv. Maří Magdalény)	12	3,73	1,94	1,48	2,21	1,15	0,67
28	Z	Holubice (Narození P. Marie)	13	2,26	1,53	1,07	1,44	0,98	0,87
31	Z	Plaveč (Nanebevzetí P. Marie)	13	2,64	1,30	0,92	1,67	0,83	0,98
34	Z	Štěpkov (sv. Václava)	13	1,77	1,51	0,99	1,20	1,02	0,94
35	Z	Zborovy (sv. Jana Křtitele)	13	3,57	1,22	0,65	1,96	0,67	1,68
36	Z	Želkovice (sv. Petra a Pavla)	13	3,09	1,94	1,51	2,02	1,27	0,59

Tab. 6 – Vertikální rozměry, přepočtené na historické délkové jednotky.

Vertikální rozměry nadzemní konstrukce				rozměry v historických jednotkách									
mapové číslo	zachovanost	Název rotundy	století	mm		ř.s.		k.s.		l.s.		modul	
				>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
6	Z	Budeč (sv. Petra a Pavla)	10	11990		40,55		36,01		27,88		19,03	
11	Z	Znojmo (Nanebevzetí P. Marie a sv. Kateřiny)	11	9800	5690	33,14	19,24	29,43	17,09	22,79	13,23	18,49	10,74
15	Z	Praha 1 – Vyšehrad (sv. Martina)	11	9790	6770	33,11	22,89	29,40	20,33	22,77	15,74	21,33	14,75
17	Z	Týnec nad Sázavou (sv. Václava)	11	9930	6100	33,58	20,63	29,82	18,32	23,09	14,19	17,30	10,63
19	Z	Dobřichovice (Karlík) (sv. Martina)	12	9720	6340	32,87	21,44	29,19	19,04	22,60	14,74	30,57	19,94
23	Z	Praha 1 – Staré Město (sv. Kříže Menšího)	12	9360	5350	31,65	18,09	28,11	16,07	21,77	12,44	16,19	9,26
24	Z	Přední Kopanina (sv. Maří Magdalény)	12	10380	6140	35,10	20,76	31,17	18,44	24,14	14,28	32,14	19,01
28	Z	Holubice (Narození P. Marie)	13	8240	5270	27,87	17,82	24,74	15,83	19,16	12,26	14,31	9,15
31	Z	Plaveč (Nanebevzetí P. Marie)	13	8860	5620	29,96	19,01	26,61	16,88	20,60	13,07	27,09	17,19
34	Z	Štěpkov (sv. Václava)	13	7800	5280	26,38	17,86	23,42	15,86	18,14	12,28	20,42	13,82
35	Z	Zborovy (sv. Jana Křtitele)	13	8880	4870	30,03	16,47	26,67	14,62	20,65	11,33	11,28	6,19
36	Z	Želkovice (sv. Petra a Pavla)	13	10500	6880	35,51	23,27	31,53	20,66	24,42	16,00	36,08	23,64

Vyhodnocení analýzy vertikálních rozměrů.

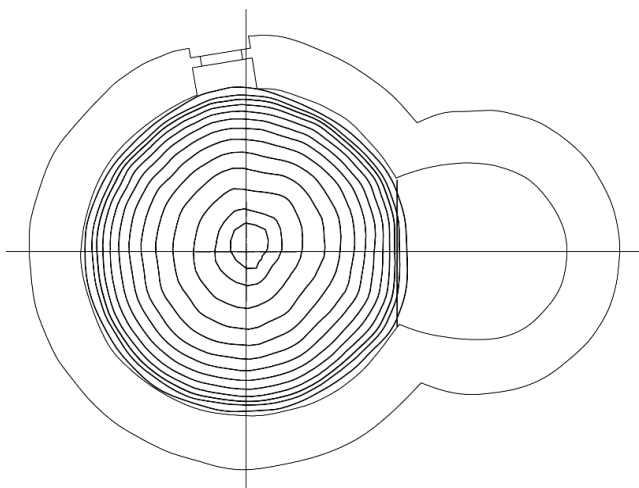
Poměrová analýza vertikálních rozměrů nepotvrdila užití nějakého jednotného kánonu u všech objektů, stejně jako v předešlých případech. U poměru V/D je skupina pěti objektů, které mají tento poměr v okolí hodnoty $V/D \approx 1,5$, což odpovídá použití kvadratury stejně jako hodnota z okolí $V/D \approx 1,414$. Poměr V/d naznačuje v několika hodnotách z okolí $V/d \approx 2,82$ opět na princip kvadratury.

4.2 Konstrukční analýza

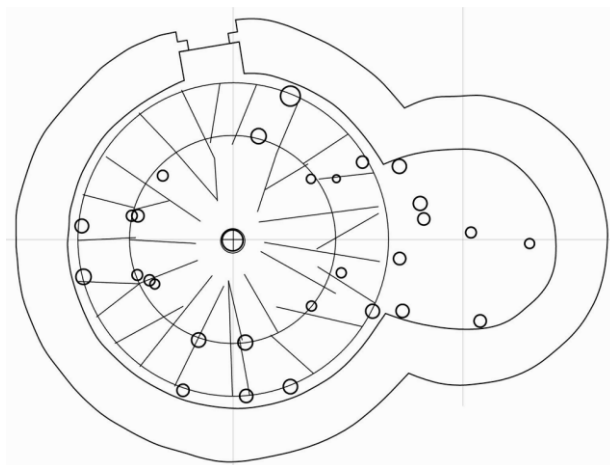
V disertační práci je provedena konstrukční analýza základových konstrukcí, nadzemních nosných konstrukcí, zastropení rotund a zastření rotund. Také je analyzováno provedení vstupních a okenních otvorů, povrchových úprav včetně provedení podlahy. Pro omezený prostor zde bude zmíněn pouze hlavní výsledek konstrukční analýzy, kterým je hypotetická rekonstrukce bednění kopule znojemské rotundy.

Hypotetická rekonstrukce bednění kopule.

Základním podkladem pro hypotetickou rekonstrukci bednění kopule znojemské rotundy je diplomová práce [14] K. Vlčka, jejíž jednou částí je zaměření celého objektu totální stanicí a vynesení rozměrů do série vodorovných i svislých řezů a provedení digitálního 3D modelu. Nosnou myšlenkou hypotetické rekonstrukce bednění je vykreslení řezů kopulí a jejich poskládání do jednoho půdorysu, viz obr. 7 a z takto vzniklého obrazu odvodit směry bednicích prken a následně umístění nosných prvků bednění.



Obr. 7 – Znojemska rotunda,
vodorovné řezy kopulí.



Obr. 6 – Znojemska rotunda, půdorys.
Kroužky vyznačují místa kúlových
jamek převzatá z [32], dvě velké
kružnice vyznačují poloměry, na
kterých se kúlové jamky nachází.
Úsečky značí směry nalezených
podpor bednicích prken.

Autor si je vědom, že vzhledem k rastru, ve kterém bylo zaměření provedeno, dochází k jisté chybě, stejně tak, že omítka kopule může některá místa značně zkreslit. Výsledek je třeba brát jako hypotézu, která se skutečnému provedení pouze přibližuje. I tak je možno z této rekonstrukce vyvodit některé poznatky, které s dalšími fakty a širšími souvislostmi umožní udělat si představu o celkové konstrukci bednění. Pro výzkum způsobu, jakým bylo bednění prováděno, byl zvolen karner v Hrádku u Znojma, který, jak bylo uvedeno výše, má kopuli vhodnou ke zkoumání.

Bednění bylo provedeno ze štípaných prken, které na podpěrnou konstrukci nebyly připevňovány, ale pouze položeny a rovnou zatíženy zděnou konstrukcí. Šikmé nosné prvky byly podepírány třemi patry roštů, které mohly být obdobou konstrukce krovu, jakou lze spatřit třeba u rotundy na Budči.

4.3 Statická analýza

4.3.1 Analýza zatížení základové spáry

Analýza se zaměřuje pouze na výpočet zatížení v základové spáře a jeho vyhodnocení mezi dvěma skupinami objektů a porovnání s běžnými základovými podmínkami. Napětí v základové spáře vyjadřuje vztah:

$$\sigma_z = \frac{N_z}{A_{ef}}$$

N_z je normálová síla

A_{ef} je efektivní plocha

Zatížení základu bude bráno bez excentricity, takže efektivní plocha bude rovna ploše základu. Základ je tvořen zdivem z lomového kamene, prolévaného hliněnou nebo hubenou vápennou maltou. Hloubka založení, jak bylo psáno výše, se pohybuje mezi 700–1400 mm.

Normálová síla vychází z hmotnosti konstrukce. Při výpočtu hmotnosti konstrukce je nejprve nutno stanovit měrnou hmotnost zdiva. Pro výpočet měrné hmotnosti zdiva rotund, se jako vhodnější jevil postup uváděný již neplatnou normou ČSN 73 0035, dle které se pro kamenné zdivo řádkové, lomové nebo kyklopské stanoví měrná hmotnost a to součtem hmotnosti kamene a malty v jednotce objemu zdiva. Přičemž objem malty se uvažuje mezi 25–35 %.

Hmotnost jednotlivých materiálů:

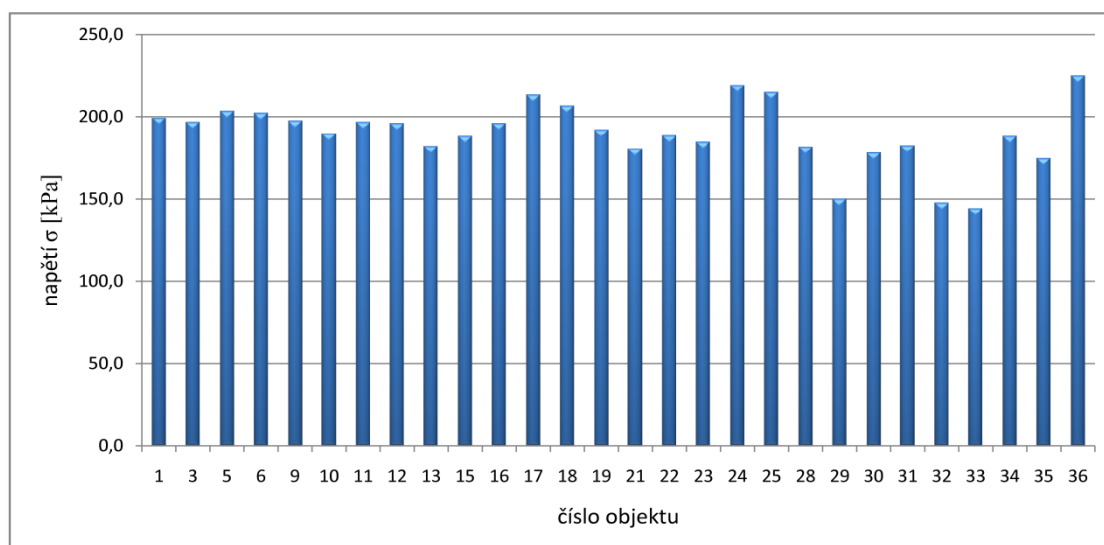
- vápenné malty 1800 kg/m³
- vápenec hutný, travertin, opuka 2400 kg/m³
- žula, diorit, granodiorit, svor, pískovec, křemenec 2600 kg/m³

Protože účelem výpočtu není dimenzování základů na únosnost, ale zjištění hodnoty napětí v základové spáře a také vzhledem ke skladbě zdiva, je zvolený objem malty u všech objektů v hodnotě 35 %. Volba měrné hmotnosti kamene se řídí podle jednotlivých objektů.

Pro přehlednost jsou výsledky pro jednotlivé objekty zpracovány do tabulky.

Tab. 7 – Analýza napětí v základové spáře.

Analýza napětí v základové spáře				Hmotnost					plocha základů [m ²]	napětí v základové spáře [kPa]
mapové číslo	zachovanost	Název rotundy	století	měrná zdíva [kg/m ³]	kopule (strop) [t]	svislé zdívo [t]	střešní konstrukce [t]	celková [t]		
1	N	Valy u Mikulčic – Těšetický les- dvouapsidová	9	2320	118,7	415,0	17,6	551,4	27,66	199,3
3	N	Ducové	9	2320	120,8	355,4	15,9	492,2	25,06	196,4
5	N	Staré Město (U. H.) – Na dědině (sv. Michala)	9	2320	160,6	466,1	17,2	643,9	31,67	203,3
6	Z	Budeč (sv. Petra a Pavla)	10	2320	120,8	594,5	22,3	737,6	36,44	202,4
9	Z	Starý Plzenec (sv. Petra)	10	2320	159,3	370,1	14,4	543,9	27,58	197,2
10	N	Staré Brno (P. Marie)	11	2320	123,5	228,4	11,5	363,4	19,16	189,7
11	Z	Znojmo (Nanebevzetí P. Marie a sv. Kateřiny)	11	2320	178,1	469,7	17,2	665,1	33,87	196,4
12	Z	Lipsko,Knautnaundorf (S. Andreas)	11	2320	178,2	389,3	14,2	581,6	29,72	195,7
13	N	Levý Hradec (sv. Klimenta)	11	2320	196,3	342,7	11,9	550,9	30,27	182,0
15	Z	Praha 1 – Vyšehrad (sv. Martina)	11	2190	152,9	379,3	15,3	547,4	29,11	188,0
16	Z	Říp (sv. Jiří)	11	2190	169,0	428,3	15,3	612,6	31,28	195,8
17	Z	Týnec nad Sázavou (sv. Václava)	11	2320	233,1	632,2	17,7	883,0	41,42	213,2
18	Z	Těšín (sv. Mikolaj)	11	2320	209,0	588,8	18,5	816,4	39,57	206,3
19	Z	Dobřichovice (Karlík) (sv. Martina)	12	2190	191,7	496,8	17,1	705,6	36,79	191,8
21	Z	Kostelec u Křížků (sv. Martina)	12	2320	161,9	251,6	9,9	423,4	23,45	180,6
22	Z	Praha 1 – Nové Město (sv. Longina)	12	2190	140,0	243,8	9,3	393,1	20,84	188,7
23	Z	Praha 1 – Staré Město (sv. Kříže Menšího)	12	2190	177,9	429,3	16,3	623,5	33,76	184,7
24	Z	Přední Kopanina (sv. Maří Magdalény)	12	2190	148,0	349,9	10,8	508,7	23,23	219,0
25	N	Pustiměř (sv. Pantaleona)	12	2320	133,4	717,8	23,9	875,2	40,74	214,8
28	Z	Holubice (Narození P. Marie)	13	2190	154,1	280,9	11,2	446,2	24,56	181,7
29	Z	Libouň (sv. Václava)	13	2320	210,2	402,3	20,1	632,7	42,17	150,0
30	Z	Lukov (sv. Jiří)	13	2320	153,3	222,5	9,1	384,9	21,61	178,1
31	Z	Plaveč (Nanebevzetí P. Marie)	13	2320	204,7	478,9	18,1	701,8	38,47	182,4
32	Z	Pravonín (sv. Jana Křtitele)	13	2320	86,3	633,1	30,9	750,3	50,89	147,4
33	Z	Šebkovice (sv. Maří Magdalény)	13	2320	205,2	356,6	19,4	581,2	40,38	144,0
34	Z	Štěpkov (sv. Václava)	13	2320	241,2	484,8	14,6	740,7	39,39	188,1
35	Z	Zborovy (sv. Jana Křtitele)	13	2320	211,9	525,2	20,8	757,8	43,36	174,8
36	Z	Želkovice (sv. Petra a Pavla)	13	2190	212,0	597,3	14,4	823,8	36,62	225,0



Obr. 8 – Graf napětí v základové spáře u jednotlivých objektů.

Vyhodnocení analýzy

Porovnání napětí v základové spáře objektů, zakládáných na skalním masivu s ostatními objekty nebyly zjištěny žádné markantní rozdíly, ze kterých by se dalo usoudit na zohlednění únosnosti podloží. Tato skutečnost nasvědčuje tomu, že při zakládání objektů nebyla uvažována rozdílná únosnost podloží, ale bylo postupováno podle nějakého empirického pravidla, například, že základová konstrukce se provádí na každou stranu o „pěst“ širší než nadzemní zdivo, případně dimenze vycházela z nějakého geometrického pravidla. Výsledná šíře základu pak byla dána také přesností, se kterou byla vykopána základová rýha.

U většiny sledovaných objektů se pohybuje napětí v základové spáře mezi hodnotami 150–200 kPa, viz tab. 7, což jsou hodnoty, které zejména u jemnozrnných zemin s rezervou vyhoví až pro konzistenci tuhou.

Z výše uvedených informací plyne, že stavby mohly být ,v některých oblastech s méně vhodným podložím, zakládány na hranici únosnosti zemin. Také zde může hrát roli hloubka založení. Často uváděný důvod ,proč byly rotundy strženy a na jejich místě postaven nový kostel tak nemusí být nedostatečná kapacita, ale statická porucha zapříčiněná nevhodným založením objektu.

4.3.2 Statická analýza kopule

Z důvodu omezeného prostoru zde bude uvedena pouze hlavní část analýzy, týkající se objektu rotundy ve Zborovech. V rámci výzkumu byla autorem disertace navštívena i tato stavba, která má jako jedna z mála přístupné podkroví a tím pádem i rub kopule. Přístup je umožněn hrubě proraženým otvorem v obvodovém zdivu lodi ve směru od apsidy. V tomto později proraženém otvoru je možno spatřit zadržovaný dřevěný prvek, který po bližším přezkoumání a po zakreslení do řezu objektu byl identifikován jako vyztužení kopule. Je umístěn v oblasti, kde podle [10] je konstrukce namáhána tahem. Snaha eliminovat tyto tahové síly svědčí o tom, že v minulosti proběhly v této konstrukci nějaké statické poruchy a provedené opatření má za úkol této poruše zabránit. Použití dřevěného prvku pro vyztužení konstrukce rotund není dosud nikde publikováno a jedná se o nově zjištěný konstrukční prvek.

5 POUŽITÁ LITERATURA

1. **NEUWIRTH, J.** *Geschichte der romanischen Kunst in Deutschland*. Leipzig, 1874. s. 189.
2. **CIBULKA, Josef.** *Václavova rotunda svatého Víta*. Praha : vl. nákl., 1933.
3. **POULÍK, Josef.** *Dvě velkomoravské rotundy v Milulčicích*. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1963. 21-078-63.
4. **KONEČNÝ, Lubomír Jan.** *Románská rotunda ve Znojmě*. Brno : HOST-vydavatelství s.r.o., 2005. ISBN 80-7294-171-2.
5. **UNGER, Josef a Ákos NEMCSICS.** *Tasovská rotunda. Vlastivědný věstník moravský*. Brno : Muzejní a vlastivědná společnost, 2014, roč. 66, č. 2, 2014. stránky 131-137.
6. **POŠMOURNÝ, J.** *Církevní architektura velkomoravské říše. Časopis Umění roč. XII. Zvláštní otisk z časopisu Ústavu pro teorie a dějiny umění*. Praha: Nakladatelství československé akademie věd, 1964.
7. **KLOUDA, Josef.** *Analýza konstrukčních, statických a proporčních kritérií staveb Velkomoravské říše*. Brno : FAST VUT Brno, 2005.
8. **KALOUSEK, Lubor.** *Hypotetické rekonstrukce sakrálních velkomoravských raně křesťanských staveb*. Brno : VUT FAST, 2010.
9. **WITZANY, Jiří.** *Poruchy a rekonstrukce zděných budov*. Praha : Technická knihovna autorizovaného inženýra a projektanta, 1999. ISBN 80-902687-5-3.
10. **ŠKABRADA, Jiří.** *Konstrukce historických staveb*. Praha : Argo, 2003. ISBN 80-7203-548-7.
11. **LAU, Wanda W.** *Equilibrium analysis of masonry domes*. Massachusetts : Massachusetts Institut of Technology, 2006.
12. **RICHTER, Václav.** *"Velkomoravské baziliky"*. Praha, 2001. Sv. 14s. ISBN 80-200-0926-4.
13. **VANČO, Martin.** *K metodologii výzkumu velkomoravské architektury*. místo neznámé : In: *Acta historica Neosoliensia : vědecký časopis pre historické vědy Banská Bystrica : Katedra histórie Fakulty humanitných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici*, 2011.
14. **KOTTMANN, Albrecht.** *Das Geheimnis romanischer Bauten*. Stuttgart : Julius Hofman Verlag, 1971.
15. **VLČEK, Karel.** *Diplomová práce – Stavebně technický průzkum rotundy ve Znojmě*. Brno 2008. Brno : VUT- FAST, 2008.

16.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/Central_europe_9th_century.png. [Online] [Citace: 10. 1 2015.]

17. **KLÍMA, Bohuslav.** *Znojemské rotunda ve světle archeologických výzkumů.* Brno : Vydavatelství Masarykovy univerzity v Brně, 1995. ISBN 80-210-1243-9.

18. **RUTTKAY, Alexander.** Ducové - Velkomoravský velmožský dvorec a včasnostředověké pohřebisko. *III. Mezinárodní kongres Slovenskej archeológie.* 1975, stránky 94-96.

19. wikipedia. http://cs.wikipedia.org/wiki/Josef_Cibulka. [Online] [Citace: 15. 1 2016.]

20. <http://www.muni.cz/history/gallery/661/3?lang=cs>. [Online] [Citace: 18. 4 2015.]

ŽIVOTOPIS

Ing. Pavel Kříž, narozen 13.5.1965

Vzdělání:

- SPŠ elektro
- VUT FAST – Ing. - obor pozemní stavitelství

Řidičský průkaz – A, B, C, T

Znalost PC:

Word, Excel, Powerpoint, Autocad, Teplo, Energie, Area....

Praxe:

1985 - 1992 Pozemní stavby Brno, dělník, mistr,

1993 - 1995 OSVČ

1996 - 1999 Stavbyvedoucí – rekonstrukce

1999 - 2005 OSVČ

2005 - dosud Stavbyvedoucí kolektiv cca. 20 lidí

Realizace rekonstrukcí a novostaveb RD. Příležitostné projektování novostaveb a rekonstrukcí RD. Odborné zaměření na sanace a rekonstrukce historických staveb, historické krovy.

Publikační činnost

2015

1. SIBILLA, L.; KŘÍŽ, P.; VLČEK, M., POŠKODENIA HISTORICKÝCH KROVOV A ICH PODMIENKY, příspěvek na konferenci *Juniorstav 2015*, ISBN 978-80-214-5091-2, Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2015

2014

1. SIBILLA, L.; KŘÍŽ, P.; STRUHALA, K., Sanace nosných dřevěných konstrukcí -Typologie, Fakulta Architektury, Vysoké učení technické v Brně, 2014
2. SIBILLA, L.; VLČEK, M.; STRUHALA, K.; KŘÍŽ, P., Analysis of Damage to the Historic Roof Truss in Terms of Internal Environment, článek v *Advanced Materials Research*, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publications, Switzerland, 2014
3. SIBILLA, L.; STRUHALA, K.; KŘÍŽ, P., Historické krovy a jejich ochrana, , Vyšší odborná škola restaurátorská, Brno, 2014

2011

1. KŘÍŽ, P., Analýza statických poměrů základových konstrukcí románských rotund, příspěvek na konferenci *Sborník příspěvků Juniorstav 2011*, ISBN 978-80-214-4232-0, VUT v Brně CERM, BRNO,2011

2010

1. HNILICA, O.; KŘÍŽ, P., Úvaha o mikroklimatu románské rotundy ve Znojmě, příspěvek na konferenci *Sborník příspěvků Juniorstav 2010*, ISBN 978-80-214-4042-5, CERM, Brno, 2010
2. HNILICA, O.; KŘÍŽ, P., Vertikální proporce románských rotund, příspěvek na konferenci *Sborník příspěvků JUNIORSTAV 2010*, ISBN 978-80-214-4042-5, CERM, VUT v Brně, Brno, 2010
3. KŘÍŽ, P., Románské rotundy, příspěvek na konferenci *Co s kostely, Pro památky 2010*, Praha

2009

1. HNILICA, O.; KŘÍŽ, P., Proporce moravských románských rotund, příspěvek na konferenci *XII. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE on the occasion of the 110th anniversary of the founding of the Faculty of Civil Engineering of Brno University of Technology and the XIV. anniversary of Buildings Fair Brno*, ISBN 978-80-7204-629-4, CERM, Brno, 2009
2. HNILICA, O.; KŘÍŽ, P., PROPORČNÍ SOUVISLOSTI MORAVSKÝCH ROMÁNSKÝCH ROTUND, příspěvek na konferenci *JUNIORSTAV 2009, 11. Odborná konference doktorského studia*, ISBN 978-80-214-3337-3, VUT v Brně, CERM, Brno, 2009