

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

GEOMETRIE V GOTICKÉ ARCHITEKTUŘE

**Martin Prchal
David Majer
Tereza Konečná**

Brno 2010

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 1. matematika a statistika

Geometrie v gotické architektuře

Geometry in the Gothic architecture

Autoři:

**Martin Prchal
David Majer
Tereza Konečná**

Škola:

**Gymnázium třída Kapitána Jaroše
třída Kapitána Jaroše 14
658 70 Brno**

Konzultant:

Petr Pupík

Brno 2010

Prohlášení

Prohlašujeme, že jsme svou práci vypracovali samostatně, použili jsme pouze podklady (literaturu, SW atd.) citované v práci a uvedené v příloženém seznamu a postup při zpracování práce je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V dne podpis:

.....

.....

Anotace

Práce se snaží obeznámit čtenáře s využitím čisté geometrie v gotické architektuře. Snaha přesvědčit čtenáře, že i složitě vypadající prvky, si může sestrotit se znalostmi středoškolské matematiky. Uvádí příklady použití zobrazení v rovině v praxi. Obsahuje stěžejní konstrukční prvky: kružby, klenby a oblouky, typické pro stavby gotického slohu, popsané z geometrického pohledu. Práce obsahuje také dvě zkonstruovaná okna v programu AutoCAD ze staveb Porta Coeli v Předklášteří a baziliky Nanebevzetí Panny Marie v Brně. Práce je rozdělena na tři hlavní části: gotika obecně, konstrukční prvky a příklady staveb.

Klíčová slova:

geometrie, gotika, kružba, klenba, oblouk, Porta Coeli, bazilika Nanebevzetí Panny Marie

Cíl práce:

Cílem práce je shrnutí hlavních geometrických prvků a obeznámení s konstrukčními prvky v gotické architektuře.

Annotation

The work seeks to acquaint readers with the use of pure geometry in Gothic architecture. Trying to convince the reader that elements, which seem to be difficult, you can build with the skills of math high school. Provides examples of the use of depictions in the plane on the practise. It contains key structural elements: trceries, vaults and arches, which are typical for building of Gothic style and which are described of point of view the geometric perspective. The work also contains two windows constructed in AutoCAD (constructions of *Porta Coeli* in Předklášteří and the *Basilica of the Assumption of the Virgin Mary* in Brno). The work is divided into three main parts: the Gothic in general, structural elements and examples of buildings.

Key words:

geometry, Gothic (style), tracery, vault, arch, Porta Coeli, basilica Assumption the Virgin Mary

Objective of work:

The aim of this work is a summary of the main geometric elements and familiarization with the design elements of Gothic architecture.

Obsah

1 Úvod	8
2 Gotika obecně.....	9
2.1 Vznik.....	9
2.1.1 Přejídný sloh	9
2.1.2 Raná gotika.....	9
2.1.3 Vrcholná gotika	10
2.1.4 Pozdní gotika	10
2.1.5 Hlavní rozdíly mezi přejídnou a vrcholnou gotikou	10
2.2 O názvu	11
2.3 Architektura a její hlavní rysy	11
2.4 Používaný materiál	11
2.5 Stavební huť	12
2.6 Stavební plány	12
2.7 Půdorysy gotických katedrál	12
2.8 Katedrála	13
3 Konstrukční prvky.....	14
3.1 Oblouky.....	14
3.1.1 Oblouk půlkruhový a čtvrtkruhový	14
3.1.2 Oblouk lomený	14
3.1.3 Oblouk segmentový	15
3.1.4 Oblouk eliptický	16
3.1.5 Oblouk tudorský	17
3.1.6 Oblouk „oslí hřbet“	17
3.2 Klenby.....	18
3.2.1 Klenba valená	19
3.2.2 Klenba křížová.....	19
3.2.3 Klenba žebrová	20
3.2.4 Klenba hvězdicovitá.....	21
3.3 Kružby	22
3.3.1 Kružba: Sférický trojúhelník a sférický čtverec	23
3.3.2 Kružba: Tzv. mniška	23
3.3.3 Kružba: Trojlístek a čtyřlístek v kruhu.....	23
3.3.4 Kružba: Trojlístek ve sférickém trojúhelníku	24
3.3.5 Kružba: Čtyři sférické trojúhelníky v kruhu	24
3.3.6 Kružba: Dva plamínky v kruhu.....	25
3.3.7 Kružba: Kružnice vepsaná mezi dva oblouky.....	25
3.4 Stejnolehlost kružnic.....	25
3.4.1 Apolloniova úloha typu bod, kružnice, kružnice	25
3.5 Apolloniova úloha Bkk (bod, kružnice, kružnice)	26
3.6 Opěrný systém	27
4 Porta Coeli v Předklášteří u Tišnova	29
4.1 Bazilika	30
4.2 Portál.....	31

4.3 Křížová chodba.....	32
5 Bazilika Nanebevzetí Panny Marie v Brně.....	34
5.1 Konstrukce základního tvaru okna.....	35
5.2 Konstrukce 14 lomených oblouků	36
5.3 Konstrukce sférického čtverce.....	36
5.4 Konstrukce dvou spodních lomených oblouků	37
5.5 Vpis mnišky do konstrukce 5.4.....	38
5.6 Konstrukce spodního sníženého lomeného oblouku	39
5.7 Vpis mnišek do konstrukce 5.2.....	40
5.8 Konstrukce vpisku do „propadlého kosodélníka“	41
5.9 Vpis mnišek do konstrukce 5.8.....	42
5.10 Výplň středové kružnice (k_1).....	43
5.11 Konstrukce kapky ve vrchní části okna.....	44
5.12 Výplň čoček.....	45
5.13 Výplň spodních lomených oblouků.....	46
5.14 Konstrukce s pomocnými čárami.....	47
5.15 Výsledná konstrukce	48
5.16 Konstrukce v trojrozměrném provedení	49
Závěr	50
Použité zdroje	51

1 Úvod

V této práci se snažíme čtenáři přiblížit, čím se gotické období vyznačuje a vysvětlit některé základní prvky z hlediska geometrie. Využití zobrazení v rovině v architektuře a seznámení s překvapivou jednoduchostí gotiky.

Došli jsme k závěru, že i složitě vypadající gotické okno lze sestavit s pomocí pravítka a kružidla se znalostí středověké matematiky. Pro usnadnění grafické části práce jsme použili program AutoCAD a Google SketchUp.

Důležité je si uvědomit, že toto období je úzce spojeno s duchovním myšlením, které mělo velký vliv nejen na architekturu, ale i na ostatní odvětví umění, která byla úzce spojena. I Aurelius Augustinus kdysi řekl: „*Hudba i architektura jsou sestry. Obě jsou dětmi počtu. V hudbě se věčná harmonie ozývá, v architektuře zrcadlí.*“¹ Víra v Boha, jež zde zaujímá nemalou roli, se začala projevovat téměř všude. Stavby se začaly stavět tak obrovské a prostorné, aby člověk samotný pocítil svou bezmoc a malost vůči Bohu.

Práci na téma gotická architektura a vše kolem ní jsme si vybrali, jednak protože shledáváme architekturu jako velice zajímavou, ale také z obdivu ke gotickým mistrům. V této práci je rozebrána brněnská bazilika Nanebevzetí Panny Marie, která se stala nejvýznamnější gotickou stavbou v Brně, a Porta Coeli v Předklášteří u Tišnova - dvou významných staveb našeho regionu. Na těchto dvou příkladech se snažíme ukázat hlavní rozdíly mezi obdobími rané (někdy uváděné přechodné) a vrcholné gotiky. Doufáme, že se nám alespoň zčásti podaří čtenáře zaujmout takovým způsobem, že při mýjení gotických staveb v dnešní uspěchané době se zastaví a vychutná krásu gotiky dávných mistrů.

¹Bečvář J.: *Matematika ve středověké Evropě*. Praha: Nakladatelství Prometheus, 2001, s. 403

2 Gotika obecně

2.1 Vznik

Tento umělecký sloh navazující na sloh románský vzniká ve Francii asi ve 12. stol. a přetrvává dalších 300 let. Za první gotickou stavbu by se dalo považovat opatství v Saint-Denis poblíž Francie, které se začalo budovat okolo roku 1135. K přestavbě původně karolinského kostela se opat Suger vyjádřil takto: „*Sotva byly sloupy pomocí lan vytaženy z nejnižšího úbočí, domácí i sousedé je dopravovali dále: urození i neurození, těla, ruce i paže obtočeny lany jako tažná zvířata. Na strmé cestě uprostřed vesnice jim vycházeli vstříc naši manové odloživše své nářadí, a pomáhali jim ze všech sil překonat obtíže cesty velebice Boha a svaté mučedníky.*“¹ Tento styl postupně ovlivnil velkou část Evropy. V českých zemích se gotika začala projevovat zhruba o století později, tedy od 13. do 16. stol.

Byla samozřejmě rozdělena na období:

- přechodná (1230 – 1350)
- raná (1250 – 1306)
- vrcholná (1310 – 1419)
- pozdní (asi 1475 – počátek 16. stol.)

Gotická období můžeme pojmenovat i podle rodů, které Českým zemím zrovna vládly. Ranou gotiku nazýváme také gotikou přemyslovskou. Vrcholnou gotiku známe jako lucemburskou a pozdnímu období se říká gotika jagellonská.

2.1.1 Přechodný sloh

Je datován přibližně od roku 1230 do roku 1250 a je velice charakteristický prolínáním románských a gotických prvků.

Z významných památek tohoto období je třeba chrám kláštera cisterciáček v Předklášteří u Tišnova, tzv. Porta Coeli, založený přibližně kolem roku 1230 (někdy řazený i do rané gotiky).

2.1.2 Raná gotika

Její počátek je datován do roku 1250 a trvá přibližně do roku 1306. Je tedy spojována s vládou rodu Přemyslovců.

¹ Bečvář J.: *Matematika ve středověké Evropě*. Praha: Nakladatelství Prometheus, 2001, s. 403

Co do prostorového dělení mluvíme o tzv. mechanické skladebnosti, kdy jednotlivé stavební články, byly k sobě pouze jakoby přiložené. Samotné stavby nebyly příliš vysoké s úzkými, nízkými okny.

Pro kružby byly charakteristické především jednoduché tvary.

Z významných hradů tohoto období je brněnský hrad Špilberk.

2.1.3 Vrcholná gotika

Vrcholná gotika v českých zemích je spojována především s dobou vlády Lucemburků. Datována je do let 1310–1419. Hovoříme o tzv. lucemburské gotice.

Byly položeny základy Nového Města Pražského. Roku 1344 započala stavba katedrály sv. Víta v obvyklém pojetí jihofrancouzské gotiky.

Dominovalo používání síťových a obkročných kleneb, měnily se profily žeber. Po celé zemi přibývaly stavby kostelní, kláštery, hrady a tvrze. V městech probíhala intenzivní stavební činnosti.

Mezi památky vrcholné gotiky patří klášterní kostel Nanebevzetí Panny Marii. Ten je zajímavý nejen svou složitou a u nás vzácnou půdorysnou skladbou, ale především pro naše země neobvyklým materiálem. Je postaven z režného, neomítnutého cihelného zdiva, ve kterém se občas uplatňuje tesaný kámen.

2.1.4 Pozdní gotika

Pozdní gotika je spojena s obdobím pohusitským a trvá až do počátku 16. století, kdy již dochází k jejímu prolínání s renesancí. Bývá proto nazývána gotikou vladislavskou.

Žebra zde ztrácí svou nosnou funkci a stávají se pouhou dekorací. Příkladem pozdně gotického prostoru je Vladislavský sál na Pražském hradě.

Mezi další znaky pozdní gotiky patří oblouk oslí hřbet. Sloh byl přeplněn sesychajícím tvarem listů nebo zvadlých fiál (příkladem může být portál Staré radnice v Brně).

Mezi nejvýznamnější brněnské stavby tohoto období patří síňový chrám sv. Jakuba.

2.1.5 Hlavní rozdíly mezi přechodnou a vrcholnou gotikou

Výrazné rozdíly jdou vidět už na první pohled. Hlavními znaky jsou výška stavby a zdobnost jednotlivých komponentů. Za srovnání stojí okna nad hlavními portály. Kružba v Porta Coali je jednoduchá, téměř nezdobená. Po celé bazilice jsou umístěna malá okna. Zatímco portál je bohatě zdobený. V Bazilice Nanebevzetí Panny Marie je portál málo zdobený a stavitelé se

zaměřili na bohatě zdobené, veliké okna s barevnými vitrážemi, které zabírají převážnou plochu stěn. Bazilika je i mnohem vyšší.

2.2 O názvu

Název gotika byl původně neprávem spojován s Góty, které italští humanisté považovali za barbary. Giorgio Vasari, jeden z humanistů, který jako první spojil toto umění s Góty, řekl: *„Tito Gótové, tito barbari za Alpami, neznající pravé klasiky, si vytvořili sloh, který je slátaninou spirál, hrotů, groteskních příkras a zbytečných podrobností, jež naprosto postrádají prosté krásy klasického světa.“*²

Ve Francii dostal gotický sloh serióznějšího označení „style ogival“ neboli sloh lomený.

2.3 Architektura a její hlavní rysy

Hlavním rysem gotického slohu je vertikalismus, jenž měl vyjadřovat směřování za bohem, velmi štíhlé tvary směřující vzhůru a velké provzdušněné prostory. Budovy tak dosahují velkých výšek a neměly by vzbuzovat pocit stísněnosti. I přesto jsou však obvodové zdi poměrně slabé, hlavně proto, aby se do nich mohla zasadit vysoká okna, která mají za úkol celý prostor prosvětlit. Proto je také využíván opěrný systém s pilíři a oblouky, který nese značnou tíhu budovy a který je podstatným prvkem gotické architektury.

Mezi hlavní konstrukční prvky, které reprezentují gotickou architekturu, patří zejména pojmy jako oblouk, kružba a klenba, které budou podrobněji vysvětleny v dalších kapitolách.

2.4 Používaný materiál

Základním stavebním materiálem se stává především kámen. Vedle toho se samozřejmě využívaly také jiné materiály, jako je dřevo, sádra, kovy, sklo a zřídka i cihly, hlavně tam, kde nebyl dostatek kamene.

Kámen tesaný, který byl nejdříve opracován, než se použil, byl stejně používán jako kámen lomený, ze kterého se stavěly nejčastěji obvodové zdi, jež byly tím pádem dost mohutné, protože kámen lomený se neopracovával a k zajištění stability bylo nutné stavět tyto zdi širší. Kamenné zdi se zvenku nechávaly neomítnuté, omítaly se jen v interiéru, a to nepravidelně zvlněně, hlavně v lomených obloucích.

² Gotika (architektur). *Referaty-seminarky.cz* [online] Naposled změněno 23. 9. 2006 (cit. 20. 12. 2009).

2.5 Stavební huť

Při stavbách bylo zapotřebí velkého množství nejrůznějších profesí. Materiál zajistil většinou investor - král, světská knížata, či biskup, ale na samotnou stavbu se soustředilo několik desítek až stovek lidí, čímž vznikla jakási organizace, které se říkalo stavební huť. Shromažďovala kolem sebe umělce, řemeslníky a jiné mistry v různých oborech (např. tesař stavěl lešení a různé kladkové systémy, kladkař hlídal přepravu hotových kusů na své místo, zedník stavěl větší plochy zdí, kameník opracovával jednotlivé kameny, kovář chystal nástroje potřebné k celkové stavbě atd.) Její financování bylo svěřeno řediteli stavby, který byl zvolen investorem. Celou stavbu pak řídil mistr stavby (polír), který dopředu zajistil veškeré plány a zodpovídal za plynulý chod stavby.

První takové stavební hutě podléhaly cisterciáckým klášterům. Později se staly svobodnými a putovaly po Evropě.

2.6 Stavební plány

Plány tehdejších katedrál, kostelů atd., které patřily stavební huti, podávaly staviteli celkový pohled na stavbu tak, aby ji bylo možné stavět několik desítek let, a aby se daly některé části přizpůsobit vývoji doby. Nákrasy jednotlivých částí byly kresleny na dřevěné nebo voskové tabule či na pergamen ve skutečné velikosti a pak se přikládaly ke stavebnímu materiálu. Navíc i samotní kameníci mohli zasahovat do těchto náčrtů. Technické řešení budovy ale záviselo na hlavním staviteli. Plány nebyly kresleny v žádném měřítku, pouze poměry jednotlivých částí, které vycházely z šířky hlavní lodi.

2.7 Půdorysy gotických katedrál

Na rozdíl od románských bazilik umožnila gotická klenba stavět katedrály na libovolném půdorysu. Součástí je vždy hlavní loď s většinou sudým počtem vedlejších lodí plus jedna loď příčná. Na západní straně také často bývají předsíně, do kterých měli přístup i nekřesťané, kde se právě zasvěcovali do organizace církve. Větší význam měly předsíně na východě Evropy.

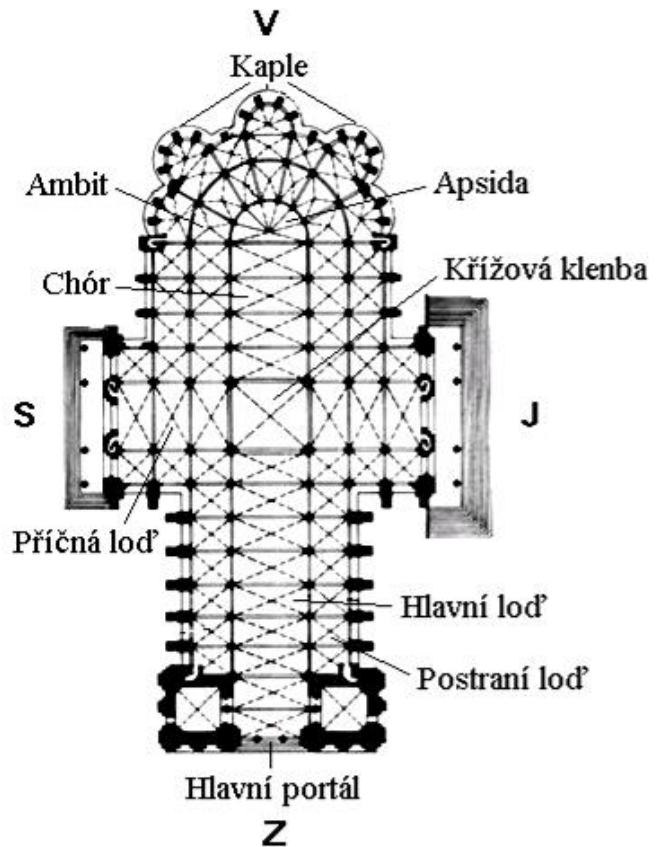
Základní pojmy:

Ambit: prostor pod křížovou klenbou, na jedné straně ohraničený arkádami

Chór: místo v kostele s oltářem, kde se konají bohoslužby

Portál: vchod do katedrály

Apsida: Oblouk za oltářem, u větších Bazilik může být i více apsid



Typický půdorys gotické katedrály

2.8 Katedrála

Katedrála se dá popsat jako budova složená z různých geometrických prvků, které drží pohromadě fyzikální a matematické zákony. Častými a mnohokrát opakovanými obrazci byly zejména díky své konstrukční snadnosti, kruh, čtverec a rovnostranný trojúhelník. Můžeme je najít na stěnách chrámu jako dekorativní ozdobné prvky nebo jako části kružeb. Někdy bývají skryty ve stavbě. Uspořádání jednotlivých objektů stavby je vzájemně propojeno symetrií a symbolikou. K magickým symbolům stavby se patří rovněž zlatý řez. Všimnout si ho můžeme například v poměru výšky a šířky lodi, polohy ozdobných hlavic sloupů atd.

Zlatým řezem se označuje poměr $\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,618$. Je to poměr úsečky rozdělené na dvě nestejně dlouhé části tak, že poměr délky celé úsečky ku délce větší z obou částí je stejný jako poměr délky větší části úsečky ku délce části menší. Dělení v tomto poměru je lidskému oku nejlíbivější, proto ho používali zejména umělci ve svých dílech.

3 Konstrukční prvky

3.1 Oblouky

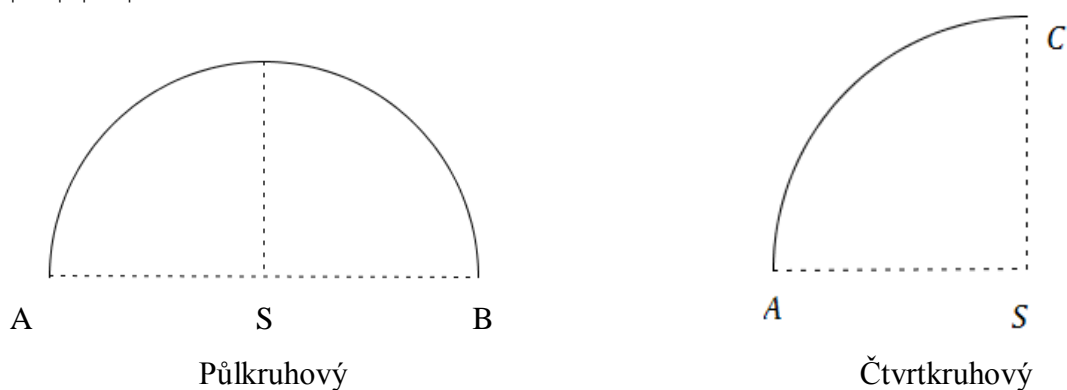
Oblouky jsou důležitým znakem nejen gotické architektury. Jejich výhoda je především v tom, že roznesou tlak, kterým na ně působí obrovská tíha zdí, do stran. Nejjednodušším obloukem je oblouk půlkruhový, který byl v gotice částečně nahrazen obloukem lomeným. Dnes již známe spoustu druhů oblouků, a některé z nich si ukážeme.

3.1.1 Oblouk půlkruhový a čtvrtkruhový

Využíval se hlavně u vchodů v době románské a v rané době gotické, poté je nahrazován lomenými oblouky. Konstrukčně je to půlkružnice. Oblouk čtvrtkruhový se využíval hlavně v opěrném systému a vychází také z oblouku půlkruhového.

Obrázek: Oblouk půlkruhový a čtvrtkruhový

$$|AS|=|CS|$$

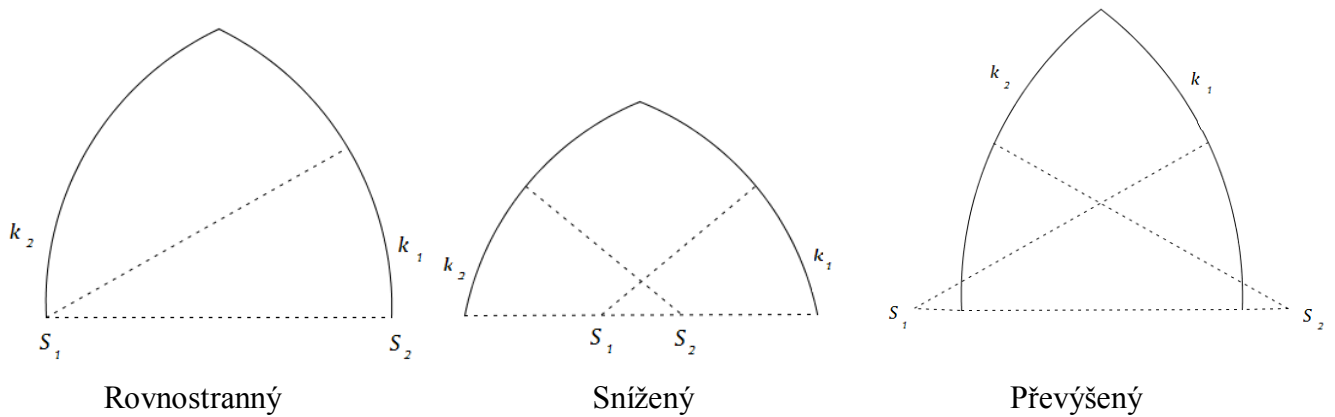


3.1.2 Oblouk lomený

Lomené oblouky se staly hlavním prvkem gotické architektury. Jejich výhoda spočívá v tom, že dokážou lépe roznést tlak zdiva do stran. Mohou se také přizpůsobit stavbě, jelikož je lomený oblouk tvořen ze dvou kruhových úsečí, které jsou na vrcholu spojeny ostrým

zlomem, takže jejich přechod není plynulý jako u oblouku půlkruhového. Díky tomu se dají tvarovat, tzn. jejich výška může zůstat zachována a zároveň se jejich šířka může měnit a naopak.

Obrázek: Oblouky lomené

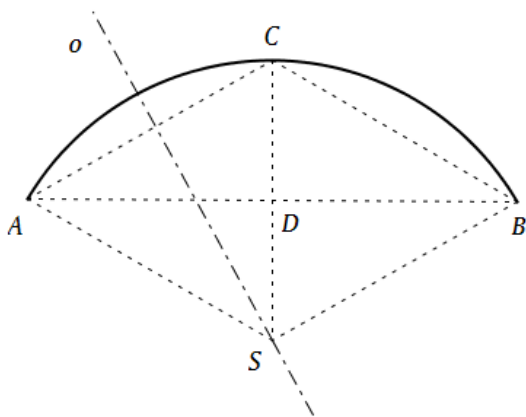


3.1.3 Oblouk segmentový

Oblouk segmentový sestrojíme tak, že zkonstruujeme pouze část oblouku půlkruhového – sestrojíme jeho kruhovou úseč. Nejčastěji se používal jako nadokenní.

$|AB|$ = velikost tětiny, tedy šířka oblouku; $|CD|$ = výška oblouku; o ...osa úsečky AC ;
 D ...střed úsečky AB ; $S = o \cap CD$

Obrázek: Oblouk segmentový



3.1.4 Oblouk eliptický

Eliptický, stlačený nebo oválný oblouk je sestaven z poloviny elipsy. Užívá se v místech, kde je nutné postavit oblouk, který má mít výšku větší než polovinu jeho šířky. Takové požadavky splňuje právě elipsa. Často se ale nahrazuje na sebe navazujícími oblouky kružnic s různými středy, jelikož sestavit elipsu není jednoduché. Oblouk se dá sestavit více způsoby, tedy z více částí kružnic.

Eliptický oblouk se 3 středy kružnic:

$\triangle ADC$...rovnostranný

$\triangle FDE$...rovnoramenný, kde FE je základna, E je vrchol oblouku

$$|FD| = |DE|$$

$$P = EF \cap AC, P \in p \wedge p \parallel DC$$

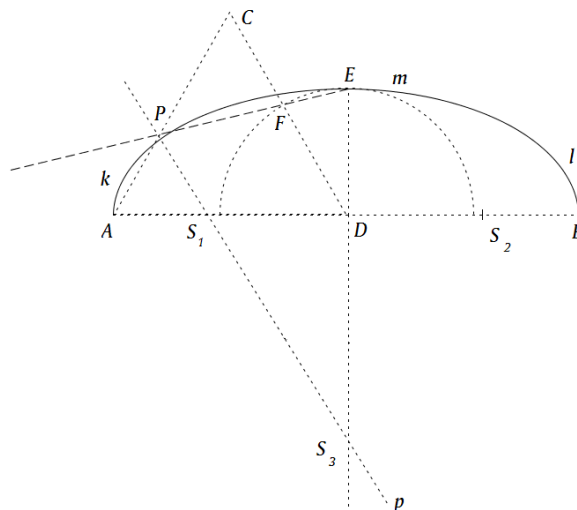
$$P \in p \Rightarrow S_1 \in p \cap AD$$

$$\mathcal{R}(O; 180^\circ); S_1 \rightarrow S_2$$

$$S_3 = DE \cap p,$$

$$k(S_1; |S_1A|); l(S_2; |S_2B|); m(S_3; |S_3E|)$$

Obrázek: Oblouk eliptický



3.1.5 Oblouk tudorský

Tudorský oblouk se především používal na anglických stavbách (podle dynastie Tudorovců, která vládla v letech 1485 – 1603, tedy v pozdní gotice). K nám se oblouk dostal až v romantismu v 19. století. Je tvořen čtyřmi oblouky kružnic, které mají různé středy.

Konstrukce:

Obrázek: Oblouk tudorský

$$|AS_1| = |S_1S| = |SS_2| = |S_2O| = |SO|$$

$$o(O; |SO|); p_2 = S_2O; S_3 \in p_2 \cap o$$

...podobně S_4

Oblouk je pak složen z částí kružnic

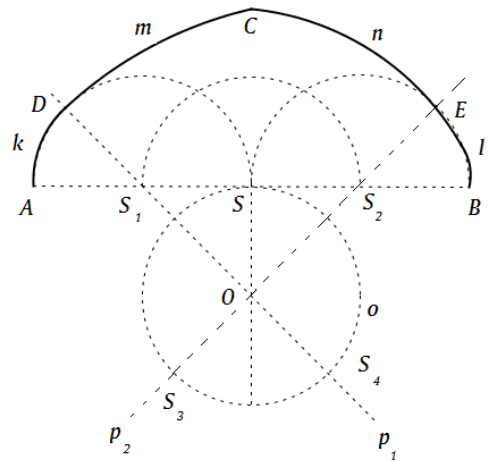
$$k(S_1; |S_1A|), m(S_4; |S_4D|), n(S_3; |S_3D|)$$

a $l(S_2; |S_2B|)$, kde body A, D, C, E, B určují

délku jednotlivých oblouků, kde bod D leží

na průniku kružnic k a m , bod C kružnic

m a n .



3.1.6 Oblouk „oslí hřbet“

Oslí hřbet, stavěn v pozdní gotice, plnil hlavně funkci ozdobnou. Samotný by byl neschopný snést tlak zdiva, proto byl stavěn spolu s jinými nosnými oblouky, které však nebylo vidět.

Stejně jako u oblouků lomených můžeme zkonstruovat klasický, snížený a převýšený.

Konstrukce:

1. Oslí hřbet klasický:

$\triangle ABC$ je rovnostranný; S ... střed strany AB

$$k(S; |SA|) \Rightarrow p \in k \cap AC$$

$S_1 \cap SP$ a zároveň přímka S_1C je rovnoběžná s přímkou AB

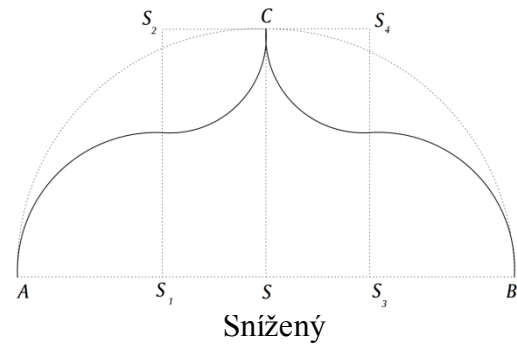
$$l(S_1; |S_1C|)$$

2. Oslí hřbet snížený:

S ... střed úsečky AB

$$|S_1A| = \frac{7}{12} |AS|; k(S_1; |S_1A|)$$

$$S_1S_2 \perp AB; l(S_2; |S_2C|)$$



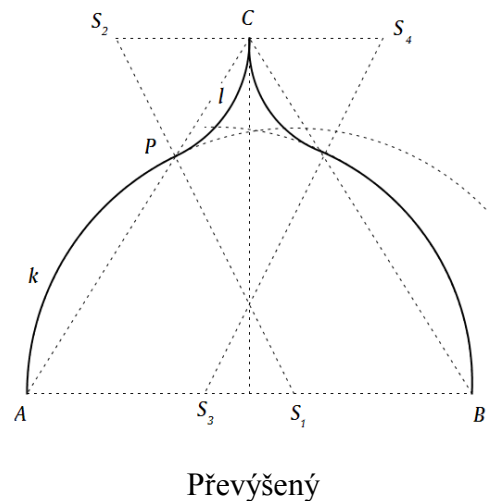
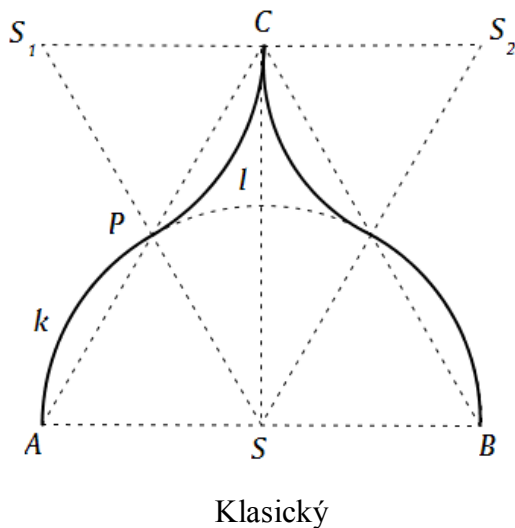
3. Oslí hřbet převýšený:

$$|BS_1| = \frac{2}{5} |AB|; k(S_1; |S_1A|)$$

$$P \in k \cap AC; S_2 \in S_1P \wedge S_2C \parallel AB;$$

$$\Rightarrow l(S_2; |S_2C|)$$

Obrázek: Oblouk oslí hřbet

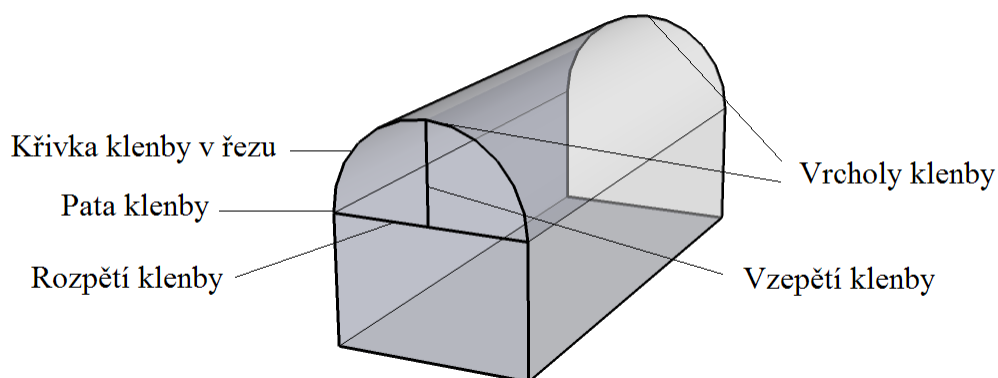


3.2 Klenby

Klenba je složitý architektonický prvek, který je znám už od roku 3300 př. n. l. Nejstarší klenba pochází z chrámu Ramesse III. v jižním Egyptě ze 12. století.

Klenba převádí síly, kterými působí její vlastní tíha do horizontálního směru (popř. šikmého, pokud není oblouk klenby půlkruhový). Síly pak působí na svislé stěny, které pak musí být zpevněny, například opěrným systémem.

Obrázek: Klenba – základní pojmy



Základní typy kleneb:

3.2.1 Klenba valená

Je to nejstarší a nejzákladnější typ klenby. V gotice byla hojně využívána. Její vrcholnice (spojnice dvou vrcholových bodů) často stoupala (popř. klesala). To proto, že se valená klenba stavěla i nad schodišti.

Klenba je tvořena válcovou plochou, která se opírá o dvě zdi, takzvané pasy. Přenáší zatížení ze stropu do protilehlých podpor. Je obvykle stavěna nad obdélníkovými prostory. Rovnoběžnost protilehlých stěn ale není podmínkou. Důležité využití takových kleneb bylo v případě konstrukce kleneb křížových. Vyskytuje se ve všech stavebních slozích, patří k nejstarším a nejužívanějším druhům kleneb.

Její křivku klenby tvoří půlkruhový či segmentový oblouk. Tlak klenby je převáděn na většinou svislé zdi.

Obrázek: Valená klenba



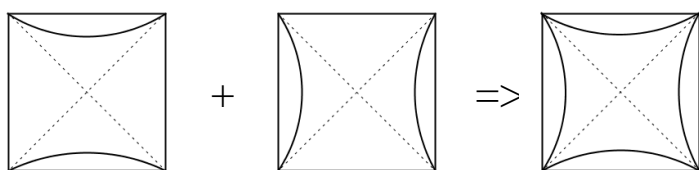
3.2.2 Klenba křížová

Tato klenba se dá sestavit průnikem dvou kleneb valených, na sebe kolmých a se stejným poloměrem oblouku. Tak vzniká jakási střecha nad čtvercovým půdorysem, ale může se

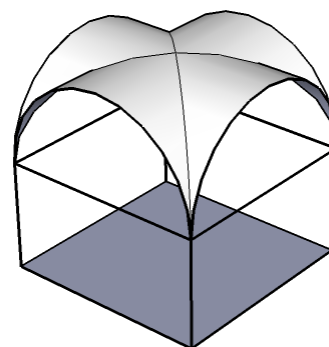
použit i v n-úhelníku. Tlaky klenby jsou rozděleny do čtyř opěrných bodů, které nalezneme v místech průsečíků dvou valených kleneb. Může být podepřena jen v rozích pilířů.

Tyto průsečíky (resp. hrany protnutých valených kleneb) mohly zůstat v nepozměněném stavu. V takovém případě by šlo o klenbu křížovou **jednoduchou**. Pokud však tyto hrany zesílíme žebry, půjde o klenbu křížovou **žebrovou**.

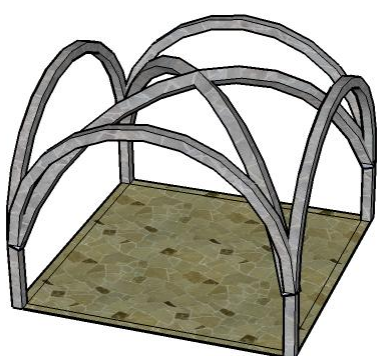
Obrázek: Klenba křížová



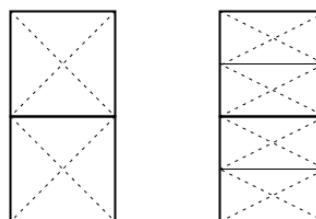
Vznik křížové klenby



Křížová klenba



Křížová klenba žebrová

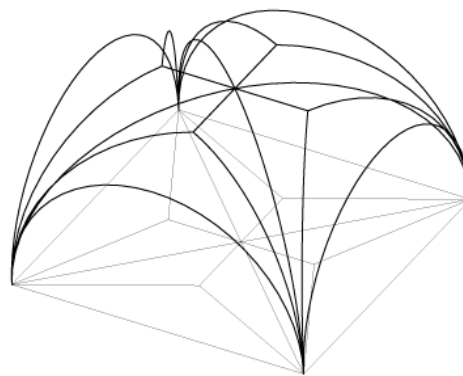


Přechod z klenby čtvercové na obdélníkovou

3.2.3 Klenba žebrová

Klenba žebrová využívá nosných žebek k usměrnění a přenosu sil z klenby do podpor. Nad půdorysem prostoru se nejprve postaví žebra a prostory mezi nimi (kápě) se vyplní lehčím zdivem. Vznikla dalším vývojem klenby křížové.

3.2.4 Klenba hvězdovitá



Klenba hvězdovitá

Vzniká průnikem několika valených kleneb, na jejichž líci vytvářejí žebra hvězdovité motivy, nebo vkládáním dekorativních žebor mezi úhlopříčné. Úloha žebor je zde již jen dekorační.

3.3 Kružby

Kružby jsou pro gotické období charakteristické, ale z hlediska geometrie také souměrný prvek, založený na principu oblouků. Jak se postupně zdokonalovaly stavební technologie, zvětšovala se též okna v bočních stěnách a bylo třeba velké prosklené plochy využít. Kružby vznikly jako prostředek k rozčlenění příliš velkých oken. Jelikož byly otvory velké pro dříve běžné olovené nebo železné rámy upevňující sklo, začaly se nahrazovat jemně vytesanými ornamenty z kamene. Velice brzy se kružba stala abstraktní ornamentální dekorací, která mohla být použita téměř všude (1 na stěnách, nad prázdnými prostory nebo mohla stát samostatně). Ve druhé polovině 13. století se raná, klasicky prostá forma všemožně obohacovala stále komplikovanějším členěním, až ve 14. – 15. století kružby tvořily celé pohledové stěny, proto okna pozdní gotiky jsou jedny z nejzajímavějších a nejkrásnějších.

Poprvé byla kružba použita při stavbě chrámu v Remeši roku 1211. Je zajímavé, že v Remeši při stavbě katedrály mizí anonymita stavitelů. Jsou známa všechna jména kamenických mistrů, kteří se na stavbě podíleli. Je to proto, že kameníci a stavitelé přestali být považováni za obyčejné řemeslníky, neboť návrh a přesné provedení si nejenže vyžadovaly umělecký cit, ale i geometrickou zdatnost. Vypracovat takový návrh znamená aplikovat v praxi řadu geometrických znalostí.

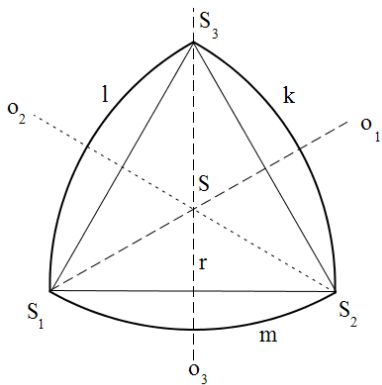
Na gotickém nákrese kružby je specifická jeho nesmírná propracovanost, jež vyžadovala dříve zcela nevídanou dovednost při práci s pravítky, kružidly, a pak skutečnost, že musel být proveden v měřítku, aby byl vůbec použitelný.

Kruh sám o sobě byl chápán jako symbol vesmíru „věčného bytí“. Symbolika kruhu je středověkou ozvěnou platonismu v náboženské filosofii. „*Bůh do nás vložil kruhovitě pohyby nesmrtelné duše...Vidouce dráhy rozumu na nebi (pohyby hvězd), máme jich užít pro oběhy v nás, neboť jsou s nimi sourodné...*“¹

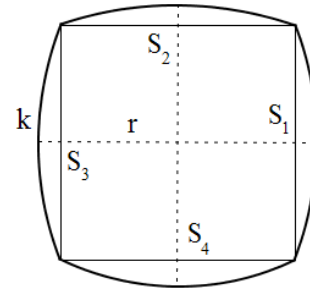
¹ Šarounová Alena: Kružby gotických oken. In: Bečvář Jindřich a kol.: *Matematika ve středověké Evropě*. Praha: Prometheus, 2001, s. 433

Základní prvky a konstrukce některých kružeb:

3.3.1 Kružba: Sférický trojúhelník a sférický čtverec



$\Delta S_1S_2S_3$ je rovnostranný
 $k(S_1; r)$; $l(S_2; r)$; $m(S_2; r)$



$k(S_1; r)$ atd.

3.3.2 Kružba: Tzv. mniška

$$|AE|=|DB|=\frac{1}{4}|AB|; |EF|=|FS|=\frac{1}{8}|AB|$$

$$m(F; |AF|); l(B; |EB|)$$

$n(B; |BE|) \cap SC$ je středem kružnice l procházející

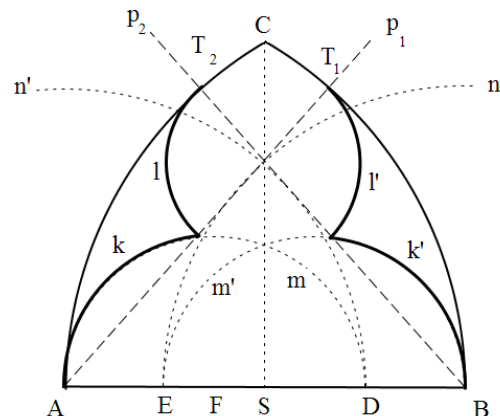
body T_1 a T_2

$$k(F; |FA|)$$

podobně k'

...mniška je pak tvořena oblouky k, l, k', l' ,

kde velikost oblouků určují přímky p_1, p_2 s průnikem kružnic m, m' a oblouků lomených



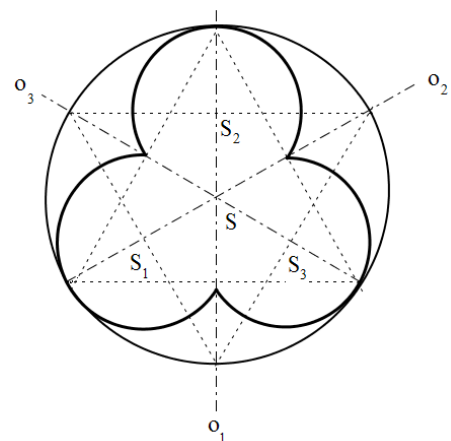
3.3.3 Kružba: Trojlístek a čtyřlístek v kruhu

Konstrukce trojlístku:

$S_1; S_2; S_3 \in o_1; o_2; o_3 \cap$ strany rovnostranného trojúhelníka

Rovnostranné trojúhelníky,

kterým je opsána kružnice, mají společné těžiště.



Konstrukce čtyřlístku:

Dána kružnice m (S ; $r = |SA|$).

Hledáme kružnice l_1, l_2, l_3, l_4 .

Zvolme libovolné průměry $AB \perp CD$

o = osa úhlu BSC , $P = o \cap m$

kružnice k je lib. dotýkající se CS a BS

$P_2 = k \cap o$

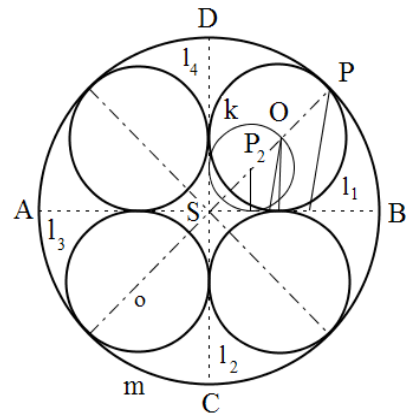
$H(S; P_2 \rightarrow P)$

$H(S; k \rightarrow l_1)$

l_1 (O ; $r = |OP|$)

kružnice l_2, l_3, l_4 obdobně

Čtyřlístek tvoří části kružnic l_1, l_2, l_3, l_4 , které jsou vnější vzhledem k jejich vzájemnému dotyku.



3.3.4 Kružba: Trojlístek ve sférickém trojúhelníku

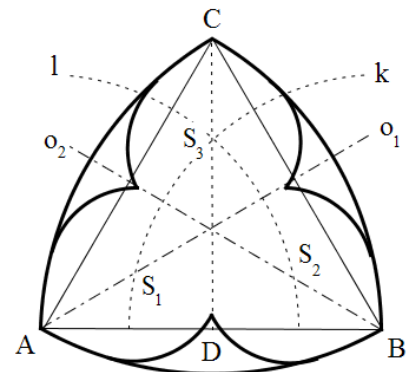
Konstrukce:

$$S_3 \in k(B; \frac{3}{4}|AB|) \cap DC$$

$$S_1 \in l(A; \frac{3}{4}|AB|) \cap o_1 ; \text{ pro } S_2 \text{ obdobně}$$

o_1 ... osa strany BC

o_2 ... osa strany AC



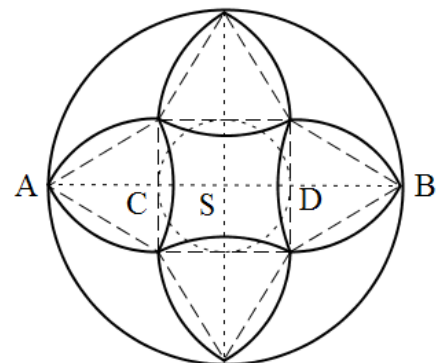
3.3.5 Kružba: Čtyři sférické trojúhelníky v kruhu

Konstrukce:

$$|AC| = \frac{\sqrt{3} \cdot |CD|}{2}, \text{ podle Pythagorovy věty v jednom}$$

ze čtyř rovnostranných trojúhelníků

$$\Rightarrow |AB| = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}|CD|}{2} + |CD| = \sqrt{3}|CD| + |CD|$$

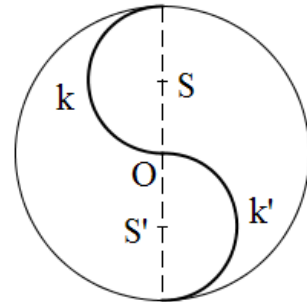


3.3.6 Kružba: Dva plamínky v kruhu

Konstrukce:

$$|SO|=|S'O|$$

k, k' ... půlkružnice



3.3.7 Kružba: Kružnice vepsaná mezi dva oblouky

Konstrukce:

Bod C je střed AB.

Nad základnami AB, AC, BC

sestrojíme základní lomené oblouky

$C \in o, o \perp AB$

$D \in AB, |BD| = |DC|$

$l = (A; r = |AD|)$

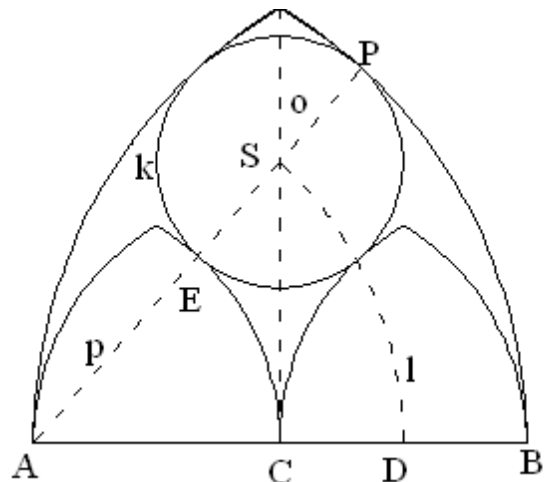
$S = o \cap l, p = AS$

$P = p \cap$ lomený oblouk nad AB

$k = (S; r = |SP|)$

$|AP| = |AB| \wedge |AE| = |AB| \Rightarrow$

$|SP| = \frac{1}{4}|AB|$



3.4 Stejnolehlost kružnic

Definice: Je dán bod S a reálné nenulové číslo κ . Stejnolehlost je zobrazení, které

1. každému bodu $X \neq S$ přiřazuje bod X' tak, že pro $\kappa > 0$ leží bod X' na polopřímce SX a $|SX'| = |\kappa| \cdot |SX|$. Pro $\kappa < 0$ leží bod X' na opačné polopřímce k polopřímce SX a také platí rovnost $|SX'| = |\kappa| \cdot |SX|$.
2. bodu S přiřazuje bod S .

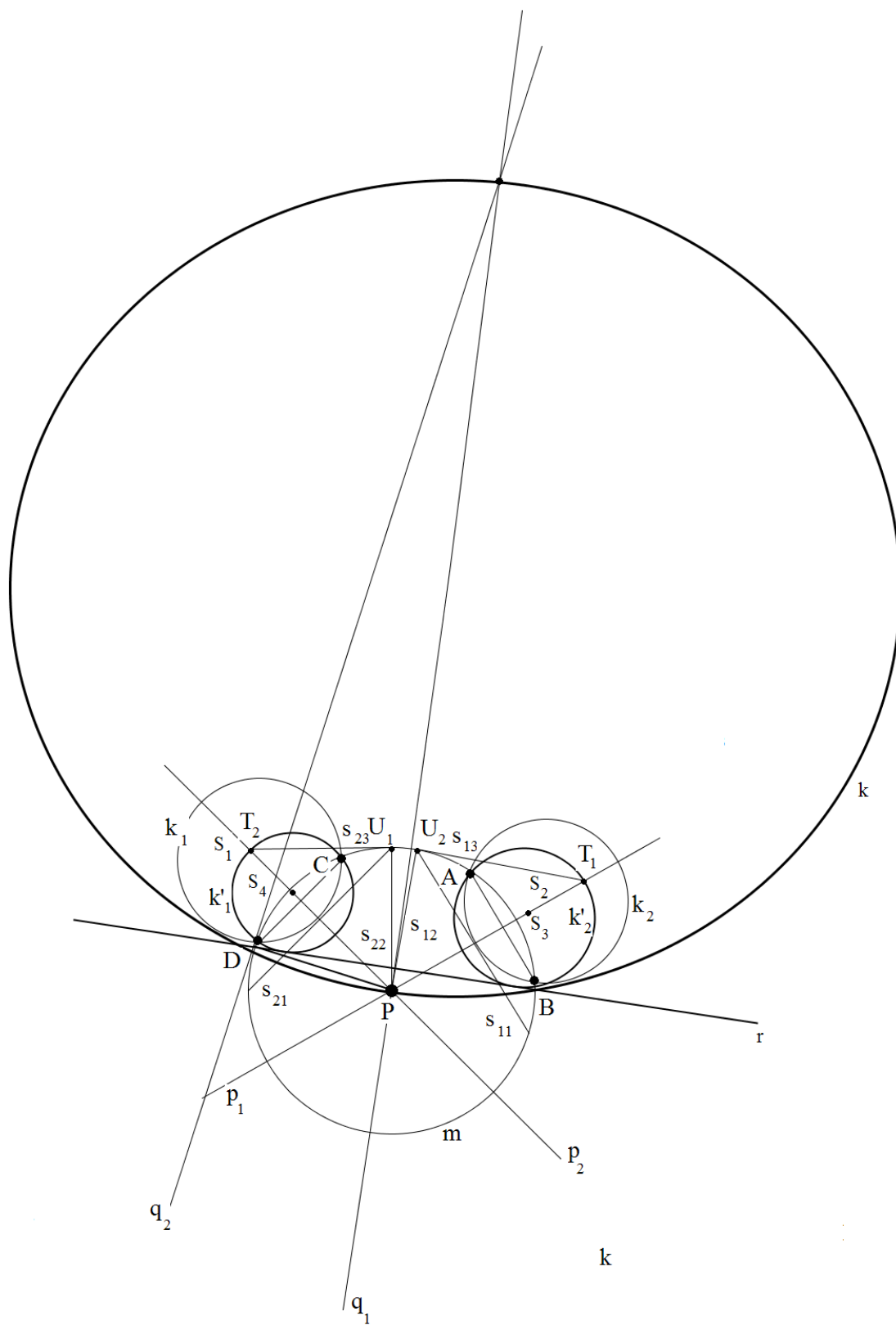
3.4.1 Apolloniova úloha typu bod, kružnice, kružnice

Variant prostorového rozmístění této úlohy je 22. Pro naše účely postačí jen jeden a to:

Kružnice l, m mají vnitřní dotyk v bodě T a bod A je vnitřním bodem větší z nich.

Pro vnitřní střed stejnohlosti kružnic l, m můžeme převést na úlohu typu BBk .

3.5 Apolloniova úloha Bkk (bod, kružnice, kružnice)



Postup konstrukce Apolloniovy úlohy „Bkk“:

Je dáno: bod P , $k_1 (S_1; r_1)$, $k_2 (S_2; r_2)$

p_1 ; P a S_1 leží na p_1 , (p_2 ; P a S_2 leží na p_2)

m ; $m (P; r = \text{tak, aby kružnice } m \text{ protla kružnice } k_1 \text{ a } k_2)$

$\Rightarrow A, B$ leží na m průnik k_2 a C, D leží na m průnik k_1

s_{11} ; $s_{11} \parallel AB$, s_{11} je tečna ke $k_2 \Rightarrow U_1$ leží na s_{11} průnik m

$PU_1 = s_{12}$, s_{13} je kolmá na s_{12} a prochází bodem U_1

T_1 ; T_1 leží na s_{13} průnik $p_1 \Rightarrow$ máme body A, B, T_1 a opíšeme jim kružnici k'_2

Obdobně i s kružnicí k_1 , dostaneme k'_1

r ; r je tečna ke k'_1 a k'_2

q_2 ; q_2 je kolmá na přímkou PD a prochází bodem D

q_1 ; q_1 je kolmá na r a prochází bodem P

Na průniku přímek q_1 a q_2 leží třetí bod (další dva leží na průniku přímky r a kružnice m (nejsou označeny))

Těmto třem bodům už jednoduše opíšeme kružnici k , která se bude dotýkat původních kružnic k_1, k_2 a bude procházet bodem P

3.6 Opěrný systém

Opěrný systém se dá rozdělit na dva typy. **Vnitřní opěrný systém**, kdy tlaky klenby jsou převáděny přes klenební žebra na samotné pilíře. Významnější je ale **vnější opěrný systém**, který umožnil stavět gotické stavby velmi vysoké, a díky kterému se obvodové zdi stávaly nepodstatnými, co se týče stability budovy. Na druhou stranu, mohly být využity k zasazení velkých oken, které vnitřní prostor katedrál, bazilik a dalších gotických staveb výrazně prosvětly. K dosažení maximální stability staveb byl tento opěrný systém ještě zatížen fiálami. Fiály jsou štíhlé útvary jehlanovité podoby, které v gotice jednak sloužily jako zátěží opěrných systémů, ale také byly často využívány jako prvek dekorativní. Krom toho, i samotné fiály byly ještě zdobeny tzv. křížovými kyticemi a kraby (malé zdobné prvky).

Základní pojmy:

Chrlič - sloužil k odvodu vody ze stavby

Arkáda - řada dvou a více oblouků oddělených pilíři

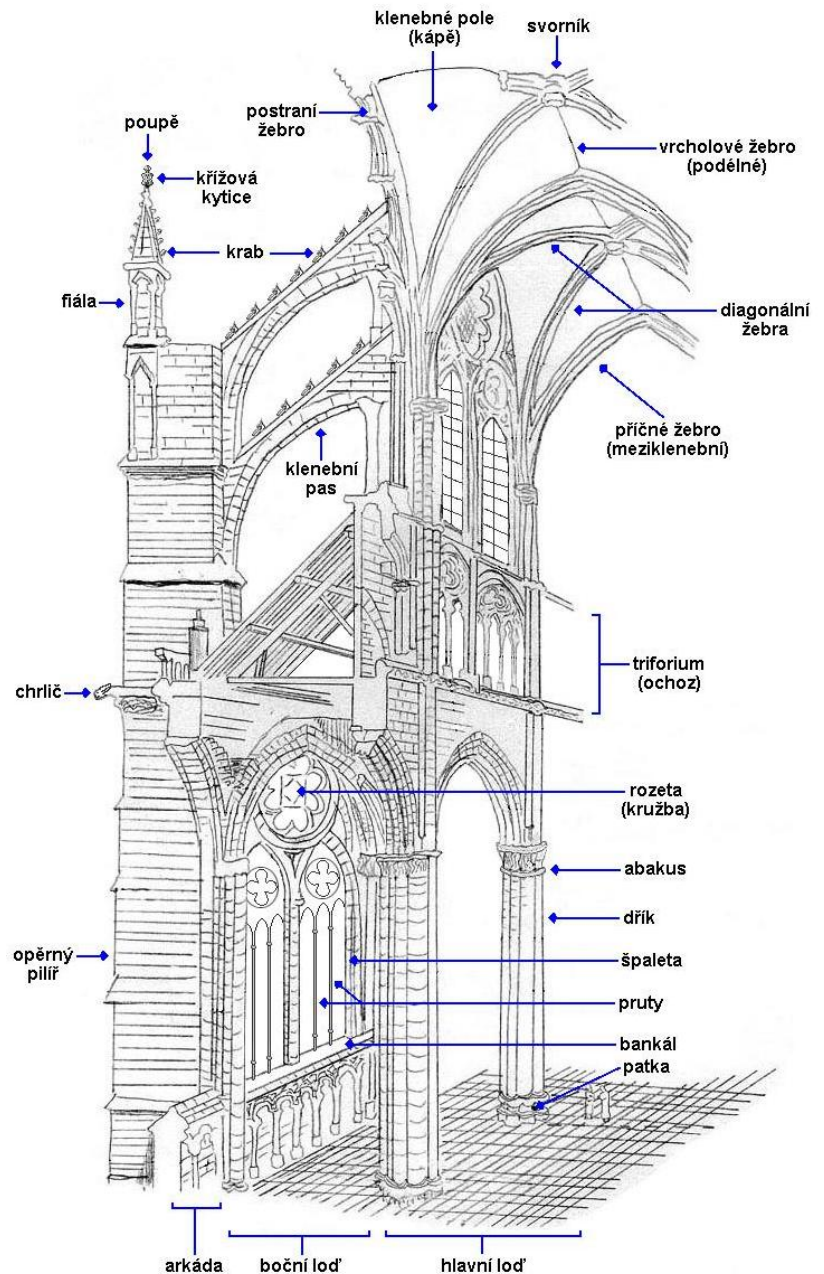
Bankál – neboli parapet

Pruty – kamenné sloupky, které okno dělily na části

Špaleta - vnitřní povrch okenního otvoru

Dřík - část sloupu mezi hlavicí a patkou

Abakus - čtvercová část hlavice sloupu



4 Porta Coeli v Předklášteří u Tišnova

Porta Coeli – **Brána nebes** je ženský cisterciácký klášter založený r. 1230 královnou Konstancií, vdovou po králi Přemyslu Otakarovi I., která zde po své smrti byla pohřbena v bazilice. Proslavenými dominantami tohoto kláštera jsou bohatě zdobené gotický portál v západním průčelí románsko-gotické baziliky, řazen mezi gotický přechodný sloh, někdy i jako ranou gotiku, Nanebevzetí Panny Marie, kapitulní síň a křížová chodba.

Daná kružnice $k_1 = (S; r = |SA|)$.

Hledáme kružnice l

Zvolme lib. průměry $AB \perp CD$

$o_1 = \text{osa}(\angle) ASD, P_1 = k_1 \cap o_1$

$o_2 = \text{osa}(\angle) P_1SD$

$o_3 = \text{osa}(\angle) ASP_1$

kružnice $k_3(S_3 \in o_1)$ je lib. dotýkající se o_2 a o_3

$P_2 = k_3 \cap o_1$

$H(S; P_2 \rightarrow P_1)$ (využita stejnoolehlost kružnic viz. 3.4)

$H(S; k_3 \rightarrow l)$

$[X_1 \in k_3 \cap o_2$

$\leftrightarrow p_2, p_2 \in S_3, p_2 \in X_2$

přímka $P_2 X_2$

$P_2 X_2 \parallel P_1 X_1, X_1 \in P_1, X_1 \cap o_2$

$p_2 \parallel p_1, p_1 \in X_1$

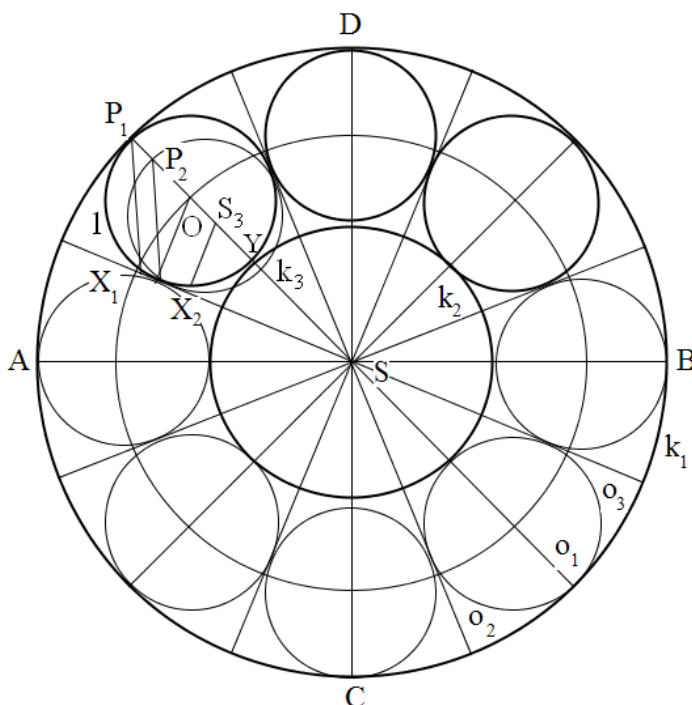
bod $O, O \in p_1 \cap o_1]$

$l = (O; r = |OP|)$

ostatní kružnice sestrojíme podobně

kružnice $k_2(S, r = |SY|), Y \in l \cap o_1 \wedge$

$Y \neq P$



Okno nad hlavním portálem

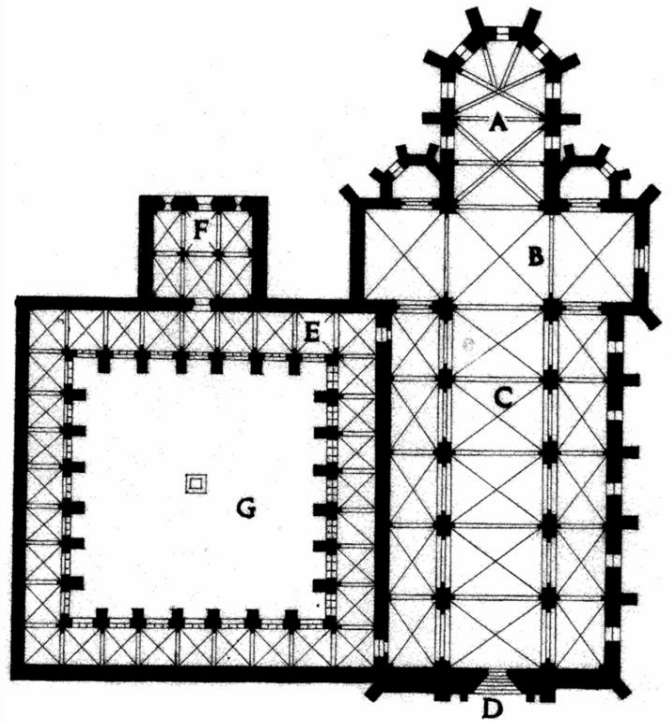


Průčelí baziliky

Přehled rozmístění klenebních polí

LEGENDA

- A) Presbyterium (kněžiště) klášterního kostela
- B) Transept (příčná loď)
- C) Střední (hlavní) loď s bočními loděmi
- D) Portál
- E) Křížová chodba
- F) Kapitulní síň
- G) Rajský dvůr



4.1 Bazilika

Půdorys baziliky tvoří latinský kříž. Patero pilířů na pravé i levé straně dělí západní rameno kříže na tři lodě, prostornou loď hlavní a dvě lodě boční. Šířka hlavní lodě se rovná součtu šířky obou bočních lodí, všechny tři pak mají po pěti klenebních polích.

K západnímu trojlodí se přidružuje prostorná příčná loď. Příčná loď se skládá se tří pravidelných čtverců, z nichž prostřední tvoří vlastní křížení. Na východní stranu křížení se napojuje kněžiště, skládající se opět z pravidelného klenebního čtverce. K oběma stranám kněžiště se přimykají kaple.

Do kostela lze vstoupit hlavním portálem, vybudovaným uprostřed západního průčelí.

Všechna žebra a meziklenební pasy vykazují tak jako kdekoli jinde v kostele, gotické zalomení. Arkádové pasy mají jednoduchý polygonální tvar (pět stran osmibokého hranolu), pasy i žebra klenby hlavní i bočních lodí jsou klínového profilu s vyžlabením v místech zkosení. Křížení žebek je zakryto svorníky (kamenný díl ve vrcholu klenby), které jsou buď nezdobené, nebo se na nich ve víru točí listy.

Na rozhraní třetího a čtvrtého pole severní lodě se nachází jediná výjimka porušující celkovou pravidelnost a symetrii stavby. Meziklenební pas je zde zdvojen. Jde o pokus o dorovnání stavební odchylky, která vznikla zřejmě chybným vyměřením této části kostela.

Příčná loď, stejně jako trojlodí, má jednoduchou čtyřdílňou křížovou klenbu bez svorníků, vlastní křížení je však proraženo velkým kruhovým otvorem, který vede do věžičky se zvonem.

V hlavní lodi je křížová klenba je šestidílná.

Světlo do baziliky proniká třemi druhy oken. Kružbový vzorec tvoří osm kruhů pravidelně rozložených po obvodu většího kruhu v centru okna. Prostor mezi jednotlivými kruhy a ostěním okna vyplňují sférické trojúhelníky. Do hlavní a jižní boční lodě, dále do transeptu a do obou bočních kaplí vedle kněžiště vedou jednoduchá úzká okna se široce rozevřenou špaletou a půlkruhovým záklenkem. Stěny presbytáře jsou členěny vysokými okny s dvoudílnou v horní části do hrotů vytaženou kružbou, mezi něž je vložen kruh, po stranách opět se sférickými trojúhelníky. Tato okna se v původní podobě nezachovala dodnes všechna, některá jsou narušena úpravami z barokního období.

Podlaha kostela je pokryta kamennou dlažbou, skládající se ze čtvercových desek bílé a modré barvy, pravidelný vzorec je na dvou místech přerušen jednoduchými deskami bez nápisů, jež kryjí vstupy do hrobek z 18. století, určených k pochování obyvatelk kláštera a služebníků kostela. Pod deskou v křížení se nachází větší krypta, valená klenba je z cihel a po obou stranách chodby jsou ve zdech tři řady výklenků. Zde jsou pohřbeny řádové sestry.

Zdi baziliky z vnější strany na několika místech vzpírají opěrné pilíře. U kněžiště jsou opěry jednou odstupňované.

Všechny opracované kamenické články na bazilice jsou především z červeného arkózového pískovce, který se vyskytuje v celé délce boskovické brázdy.

Hlavní a příčnou loď spolu s presbytářem kryjí vysoké sedlové střechy, v místě protnutí jejich hřebenů, přímo nad křížením, vystupuje nízká jednopatrová kubická věžička, zakončená stanovou střechou, v níž visí několik zvonů.

4.2 Portál



Portál Porta Coeli

Průčelí baziliky je nejčlenitější částí celého vnějšku kostelní stavby. Mohutný ústupkový portál si vyžádal značné zesílení spodní poloviny průčelí, a to téměř na dvojnásobek průměrné síly ostatních kostelních zdí.

Architekturu portálu tvoří nálevkovitě se zužující tvar, jehož pravé i levé ostění tvoří naprosto pravidelně pět ústupků se sochami, mezi něž je vloženo pět sloupků, vlastní vstup do kostela má podobu pravoúhlého obdélníka vymezeného špaletou a konzolkami.

Horní část portálu vytváří deset archivolt (typ klenby používaný v portálech) uprostřed lehce zalomených.

Prstence sloupků přecházejí v konzoly, na kterých stojí sochy deseti apoštolů. Sochy v horní polovině ostění portálu jsou nedílnou součástí kamenných bloků zapuštěných hluboko do stěny. Apoštolové nehledí jedním směrem, těla jsou natočena jak směrem dovnitř, ke dveřím, tak směrem ven, k divákovi.

Celý portál je vytesán ze čtyř druhů kamene, z červeného arkózového pískovce, bílého mramoru, žlutobílého řasového vápence a okrového křemenného pískovce. Materiál pochází z více či méně vzdálených lokalit v okolí Předklášteří.

4.3 Křížová chodba

Z východního konce severní boční lodě baziliky vede vstup do jihozápadního nároží ambitu. Ambit (otevřená sloupová klenutá chodba) obíhá rajský dvůr, uprostřed něhož studna, a je velmi pravidelný, každá jeho strana měří téměř čtyřicet metrů a člení se na sedm arkád, klenebních polí se zde tedy nachází, přičteme-li rohová, celkem třicet dva. Arkády jsou zvenčí podepřeny opěrnými pilíři, které zároveň drží i barokní oblouky, jež nesou první patro s celami řeholnic.

V každé z osmadvaceti arkád otočených ven je trojdílné okno, nad jehož středem se ještě nachází okrouhlý otvor s vloženým čtyřlístem.

Pasy a žebra dosedají na vnější straně ambitu na dvojité konzoly.

Z východního ramene křížové chodby se sestupuje po čtyřech schodech do kapitulní síně. Kapitulní síň má obdélný půdorys, který je dvěma osmibokými pilíři rozčleněn na šestero klenebních polí, v nichž lze spatřit jednoduchou křížovou klenbu se žebry s hruškovitým profilem. Všechny svorníky v klenbě nesou variabilní listovou

výzdobu. Světlo do kapitulní síně proniká skrze velké kruhové okno ve středu východní stěny a dvojicí úzkých oken s polokruhovitým záklenkem. Uprostřed místnosti se nachází kamenné lektorium (čtenářský pult) zjevně novodobého původu.

Podlaha ambitu je pokryta dvoubarevnou mozaikou z malých oblázků.

5 Bazilika Nanebevzetí Panny Marie v Brně

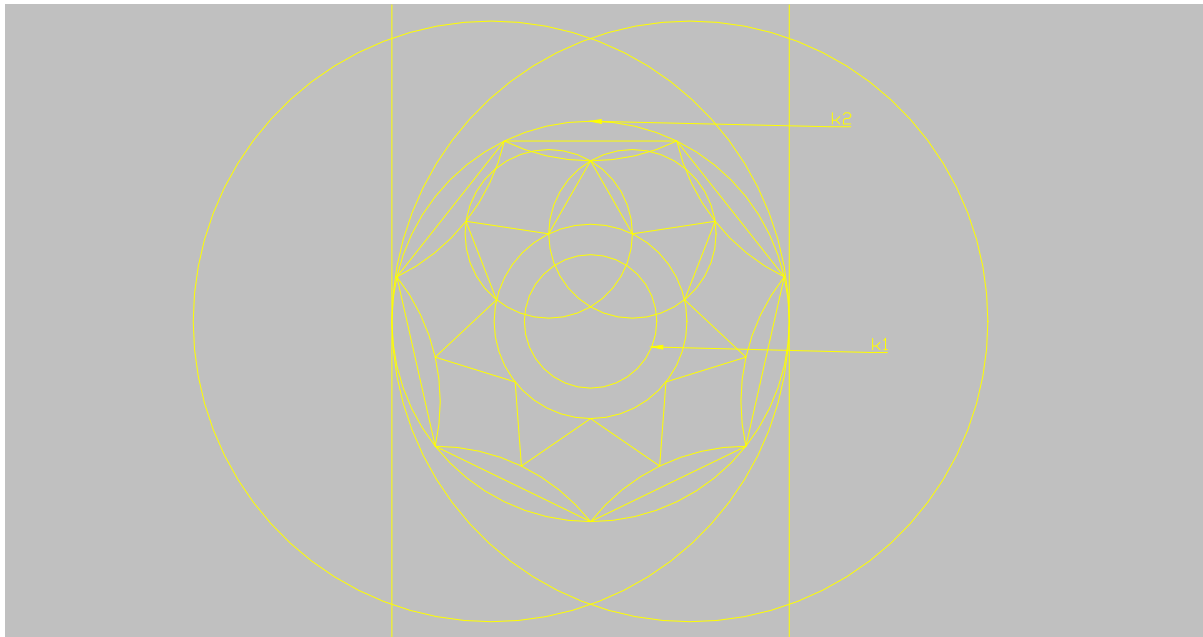
Toto dílo je považováno za klenot gotické architektury v Brně. Stavbu započala Eliška Rejčka v roce 1323, jako sídlo cisterciáček. Je řazen do vrcholné gotiky. Roku 1782 sem ale přicházejí augustiáni.

I přesto, že ji architekt Mořic Grimm v 18. století drobnými změnami v interiéru zbarokizoval, stavba působí zcela goticky. Na stavbu byly použity neomítnuté cihly, tzv. režné cihly, které střídal kámen. Zvláštností je kolmé propojení dvou lodí, což vytváří jakýsi kříž. Roku 1987 byl kostel povýšen papežem Janem Pavlem II. na baziliku minor, neboli menší baziliku, čímž získala určitá církevní privilegia.

Dále se podíváme podrobně na rozbor okna nad hlavním portálem.

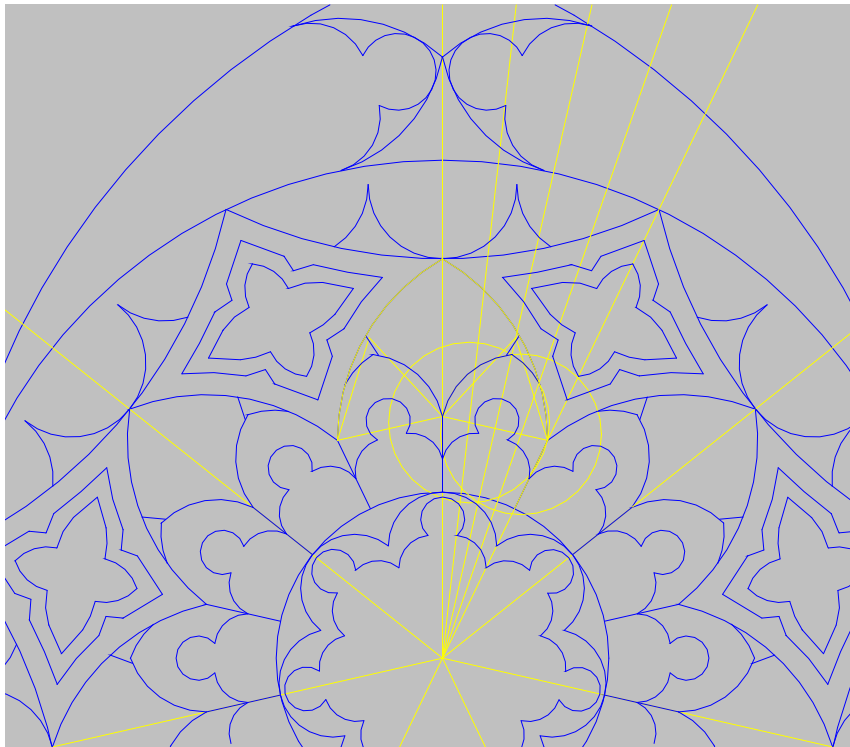


5.1 Konstrukce základního tvaru okna



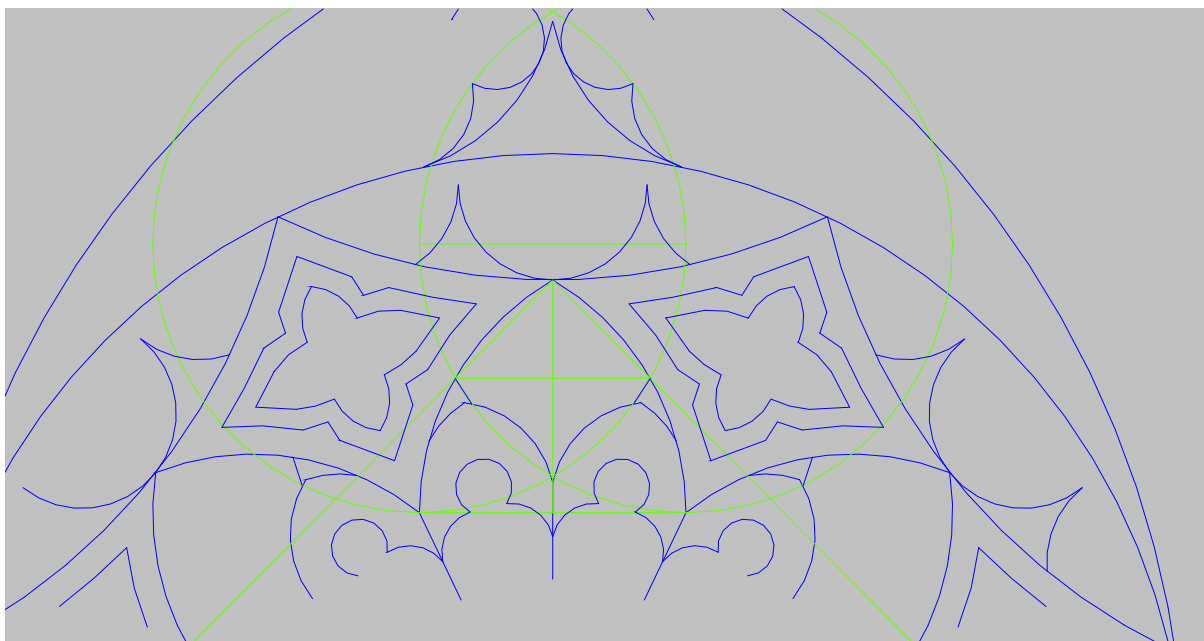
- Nejdříve byla vytvořena kružnice k_2 , která určuje vlastní šířku okna
- Nad průměrem kružnice k_2 byl vytvořen snížený lomený oblouk, který tvoří vršek okna (dle konstrukce 3.1.2)
- Do kružnice k_2 byl vepsán pravidelný sedmiúhelník (pravidelný sedmiúhelník ve skutečnosti sestavit nelze, jedná se pouze o „přibližnou“ konstrukci v AutoCADu)
- Jednotlivé části k_2 , které vznikly po rozdělení sedmiúhelníkem, zobrazíme v osové souměrnosti pomocí stran sedmiúhelníku -> vznik „čoček“
- Sestrojíme sedm rovnostranných trojúhelníků, které se budou dotýkat ve středu čoček směrem ke středu k_2
- Daným trojúhelníkům opíšeme základní lomený oblou (dle konstrukce 3.1.2)
- Sestrojíme soustřednou kružnici k_1 s k_2 . Tato kružnice je prostřední kružnicí na výsledném okně a má libovolný poloměr 14 snížených lomených oblouků

5.2 Konstrukce 14 lomených oblouků



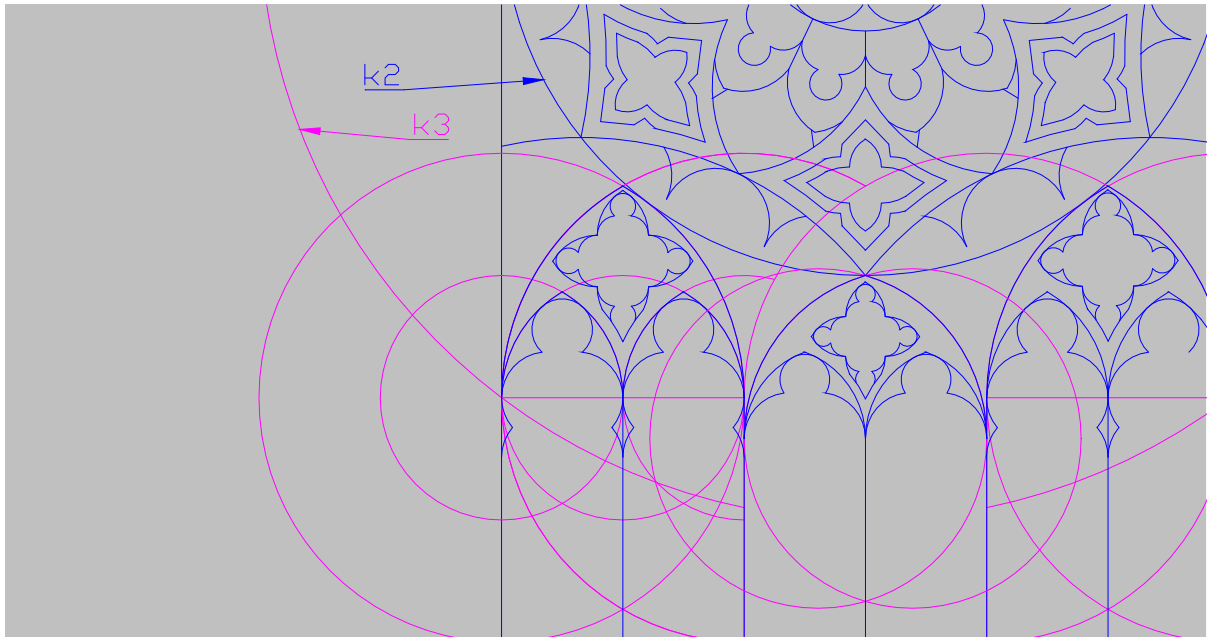
- Do základního lomeného oblouku, který jsme sestrojili v konstrukci 5.1 jsme vepsali dva rovnostranné trojúhelníky, kterým jsme opsali snížený lomený oblouk (dle konstrukce 3.1.2)

5.3 Konstrukce sférického čtverce



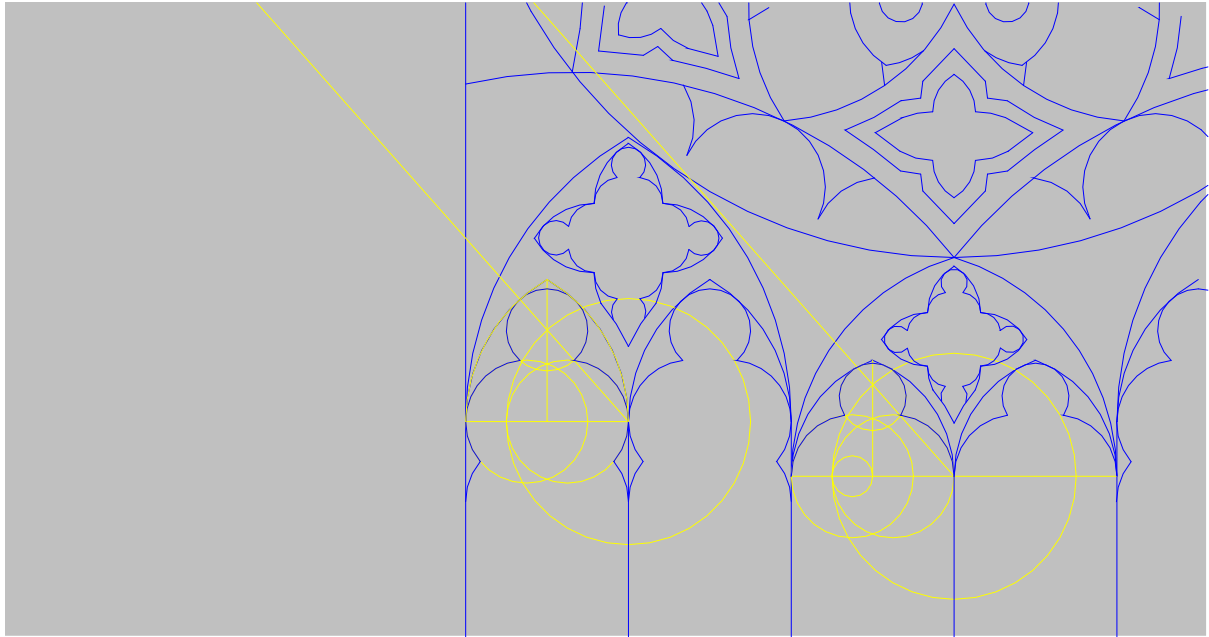
- Do prostoru tvořeného lomeným obloukem z konstrukce 5.1 a sníženými lomenými oblouky z konstrukce 5.2 byl vepsán sférický čtverec (dle konstrukce 3.3.1)

5.4 Konstrukce dvou spodních lomených oblouků



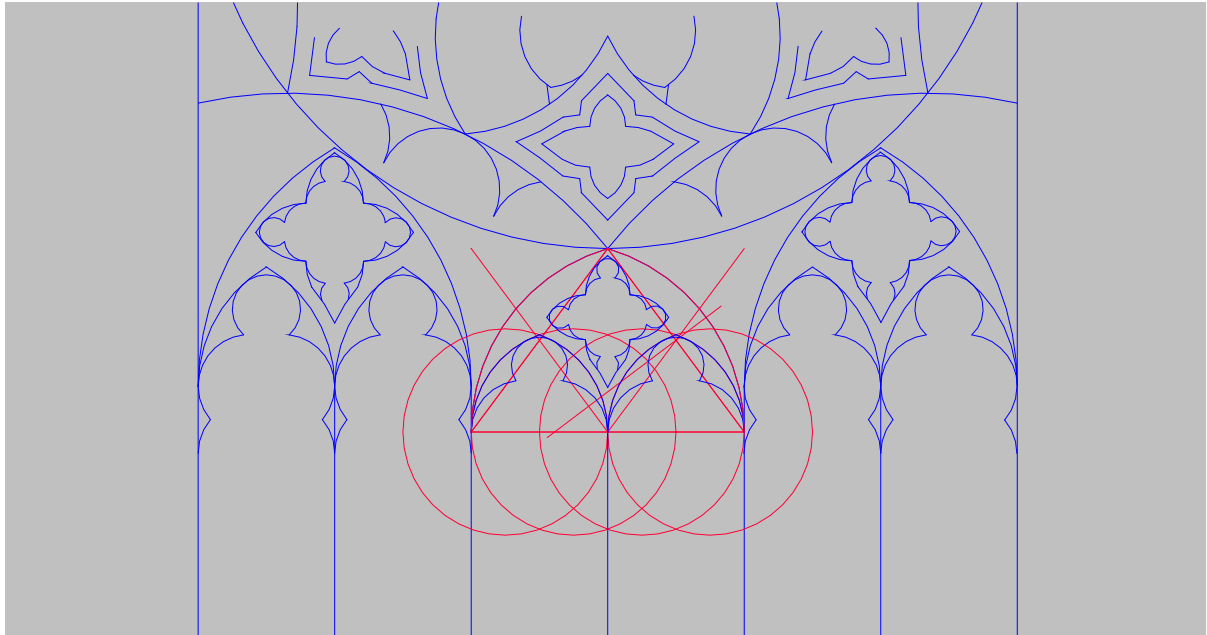
- Šířku okna si rozdělíme na 3 stejné části.
- Délka této třetiny je strana rovnostranného trojúhelníka, kterému opišeme základní lomený oblouk (dle konstrukce 3.1.2). Tuto konstrukci provedeme kdekoli.
- Sestrojíme kružnici k_3 o poloměru $r_3 = r_2 +$ třetina šířky okna.
- V místě, kde k_3 protne okraj okna, je bod do kterého daný lomený oblouk posuneme. Díky této konstrukci máme zaručeno, že se lomený oblouk bude dotýkat kružnice k_2

5.5 Vpis mnišky do konstrukce 5.4



- Nejprve byl vepsán základní lomený oblouk do lomeného oblouku z konstrukce 5.4 (s polovičními rozměry)
- Poté byla do tohoto lomeného oblouku vepsána mniška (dle konstrukce 3.3.2)

5.6 Konstrukce spodního sníženého lomeného oblouku



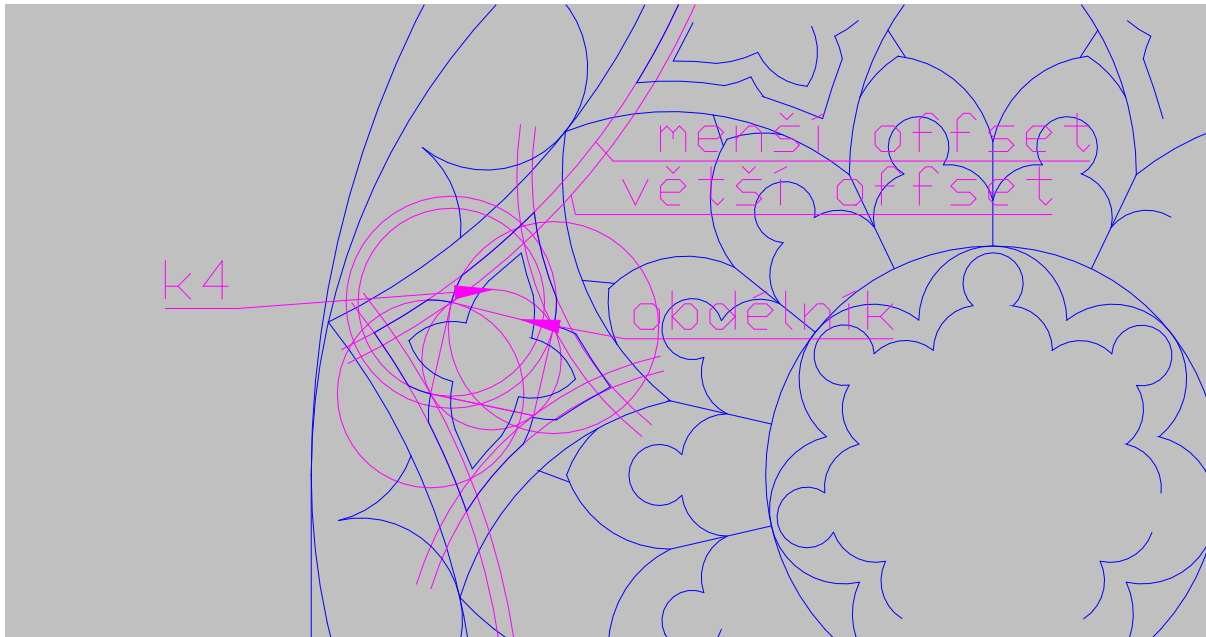
- Trojúhelník, nad kterým je náš hledaný snížený oblouk sestrojen, musí být oproti vedlejším lomeným obloukům posunut dolů. Jinak by se z námi hledaného sníženého lomeného oblouku stala kružnice. To, o kolik zmíněný trojúhelník posuneme, si můžeme zvolit
- Nad tímto trojúhelníkem sestrojíme snížený lomený oblouk.
- Se stejným „koeficientem snížení“ pak do již narýsovaného sníženého lomeného oblouku vepíšeme další dva snížené lomené oblouky s 2x menšími rozměry
- Do menších vepsaných oblouků vepíšeme mnišku (dle konstrukce 3.3.2)

5.7 Vpis mnišek do konstrukce 5.2

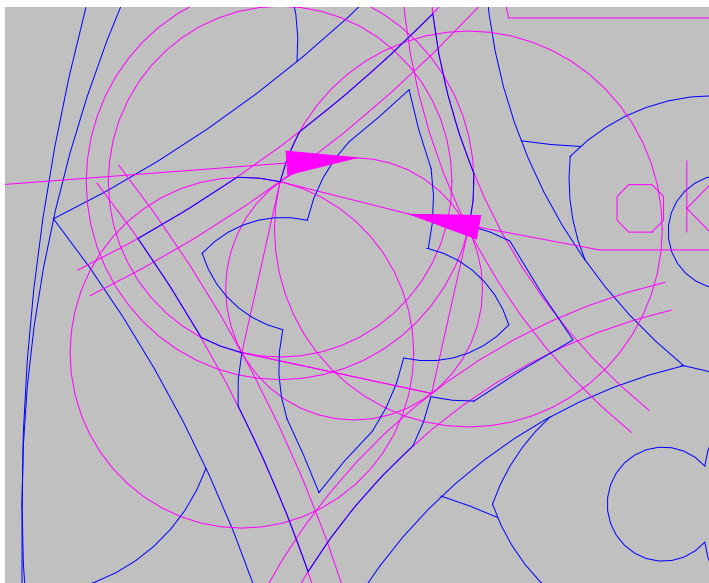


- Protože útvar, do kterého se snažíme mnišku vepsat, není čistý lomený oblouk, pomůžeme si tím, že do onoho útvaru „vložíme“ rovnostranný trojúhelník a jemu pak vepíšeme mnišku (dle konstrukce 3.3.2)

5.8 Konstrukce vpisku do „propadlého kosodélníka“

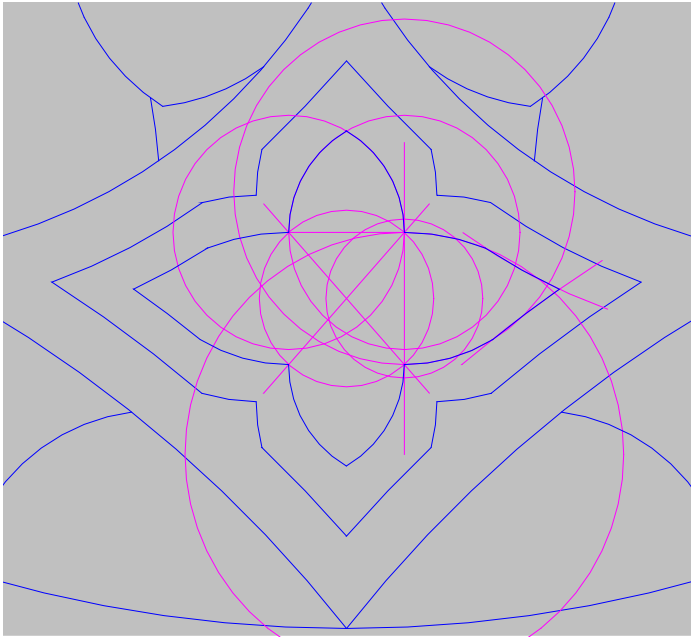


- Nejprve sestrojíme větší offset („propadlého kosodélníka“), což je vlastně z matematického hlediska jakási ekvidistanta a v našem případě nám bude nahrazovat tloušťku kamene
- Offsetu vepíšeme kružnici
- Body dotyku kružnice a offsetu jsou vrcholy vzniklého obdélíka
- Nad stranami obdélíka byly vytvořeny základní lomené oblouky (dle konstrukce 3.1.2)
- V místě kde lomený oblouk protnul menší offset, přechází konečný tvar v menší offset



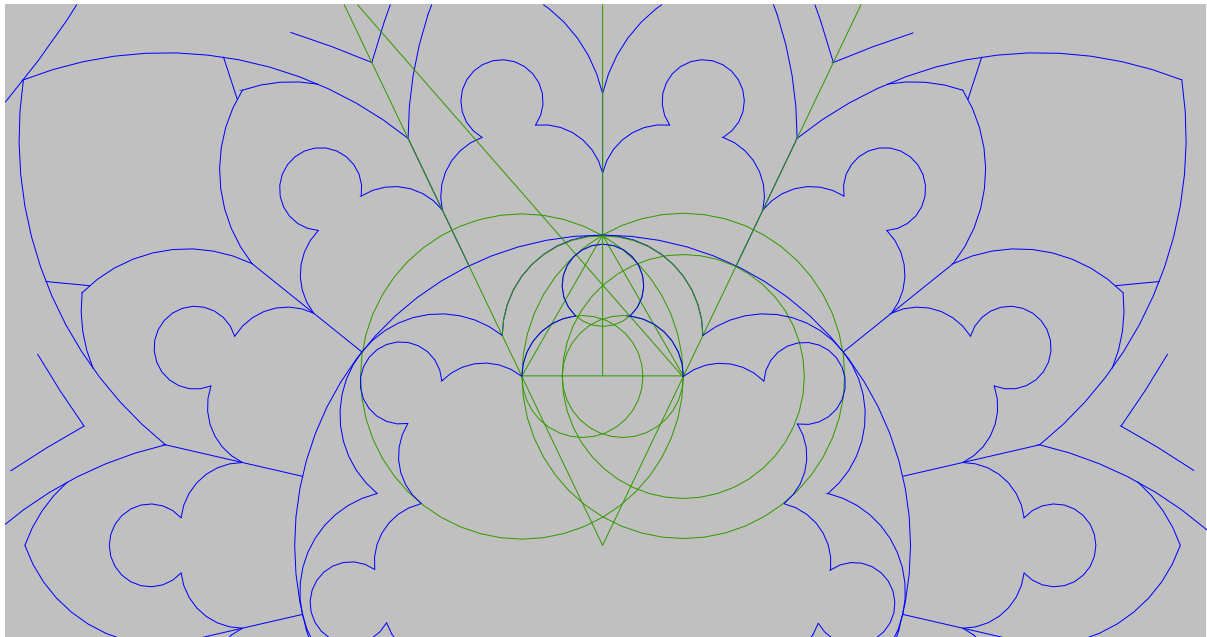
5.8.1 detail konstrukce 5.8

5.9 Vpis mnišek do konstrukce 5.8



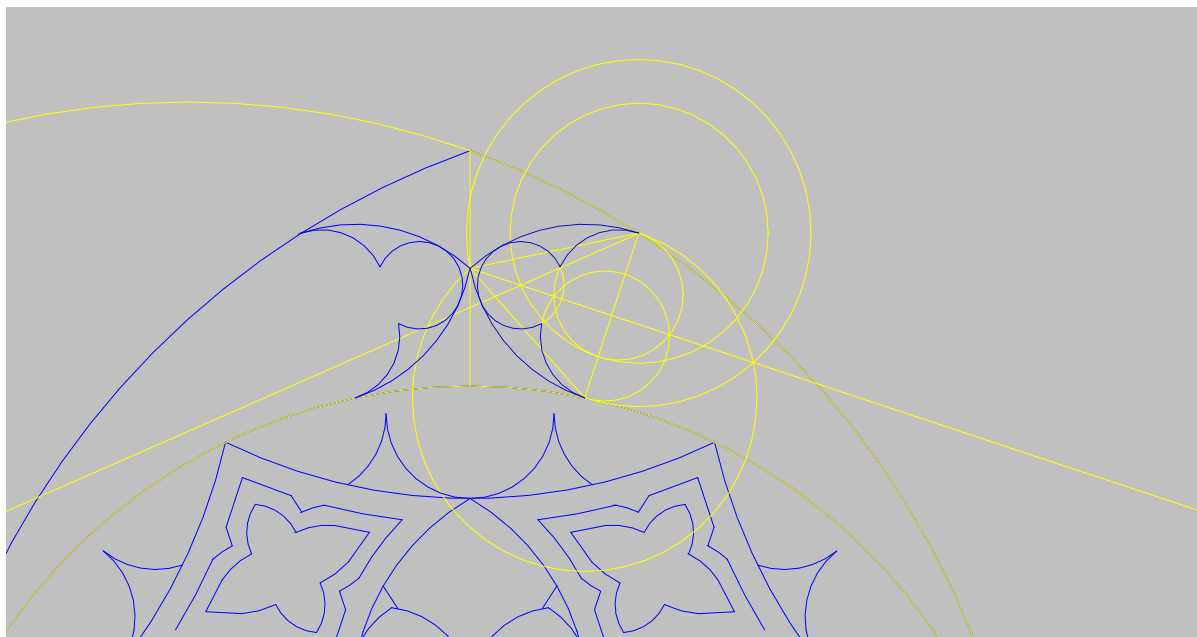
- Do útvaru vzniklého při konstrukci 5.8 vepíšeme čtyři lomené oblouky (dle konstrukce 3.1.2)
- V pravé a v levé části útvaru (z konstrukce 5.8), nám lomený oblouk přechází v offset útvaru z konstrukce 5.8

5.10 Výplň středové kružnice (k_1)



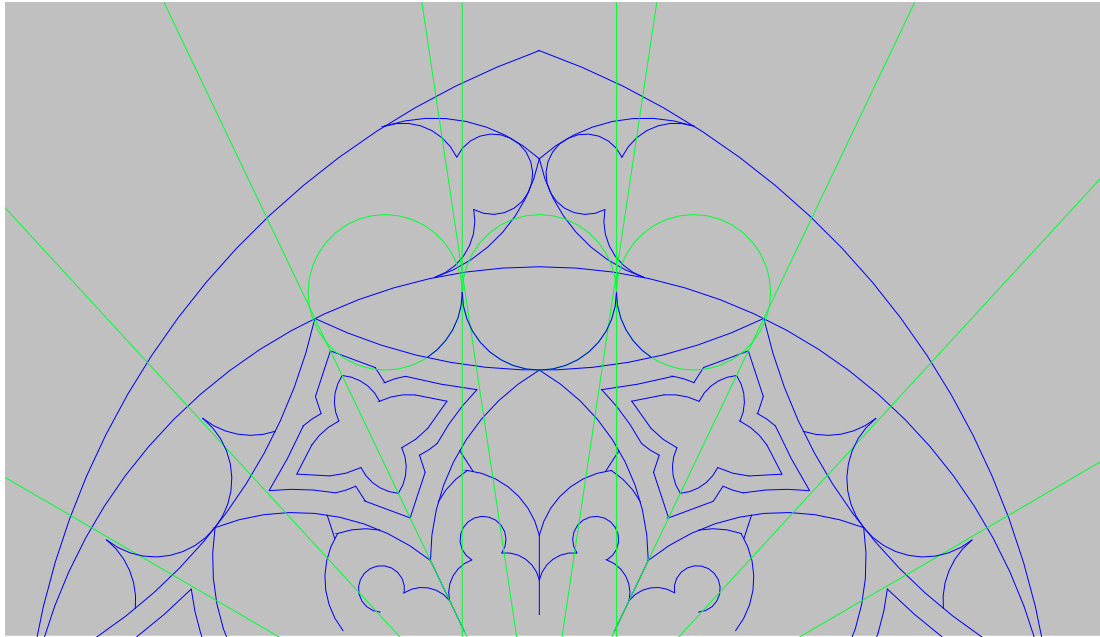
- Do kružnice k_1 bylo vepsáno sedm rovnostranných trojúhelníků
- Jim byl opsán základní lomený oblouk (dle konstrukce 3.1.2)
- Do lomeného oblouku byla vepsána mniška (dle konstrukce 3.3.2)
- Dále byly vytvořeny části kružnic, které mají větší poloměr než výška rovnostranného trojúhelníka a střed leží na prodloužené výšce, směrem ke středu kružnice k_2
- Jednotlivé části kružnic končí v místě, kde se protíná s další (stejnou) částí kružnice

5.11 Konstrukce kapky ve vrchní části okna



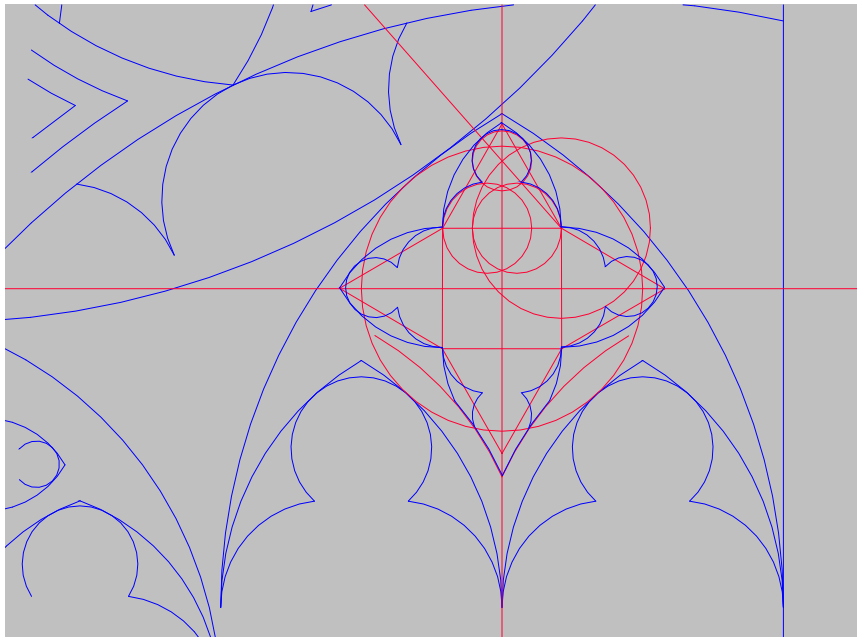
- Sestrojení úsečky, která spojuje největší vzdálenost vrchní části a symetricky ji půlí
- Sestrojení rovnostranného trojúhelníka, který se dané úsečky dotýká v půlce a jeho další dva vrcholy leží na dvou kružnicích, které tvoří obrys jedné kapky. Tento trojúhelník sestrojíme pomocí kružnice jemu opsané, kterou získáme z Apolloniovy úlohy Bkk (dle konstrukce 3.5)
- Nad vzniklým trojúhelníkem sestrojíme základní lomený oblouk (dle konstrukce 3.1.2)
- Danému oblouku vepíšeme mnišku (dle konstrukce 3.3.2)

5.12 Výplň čoček



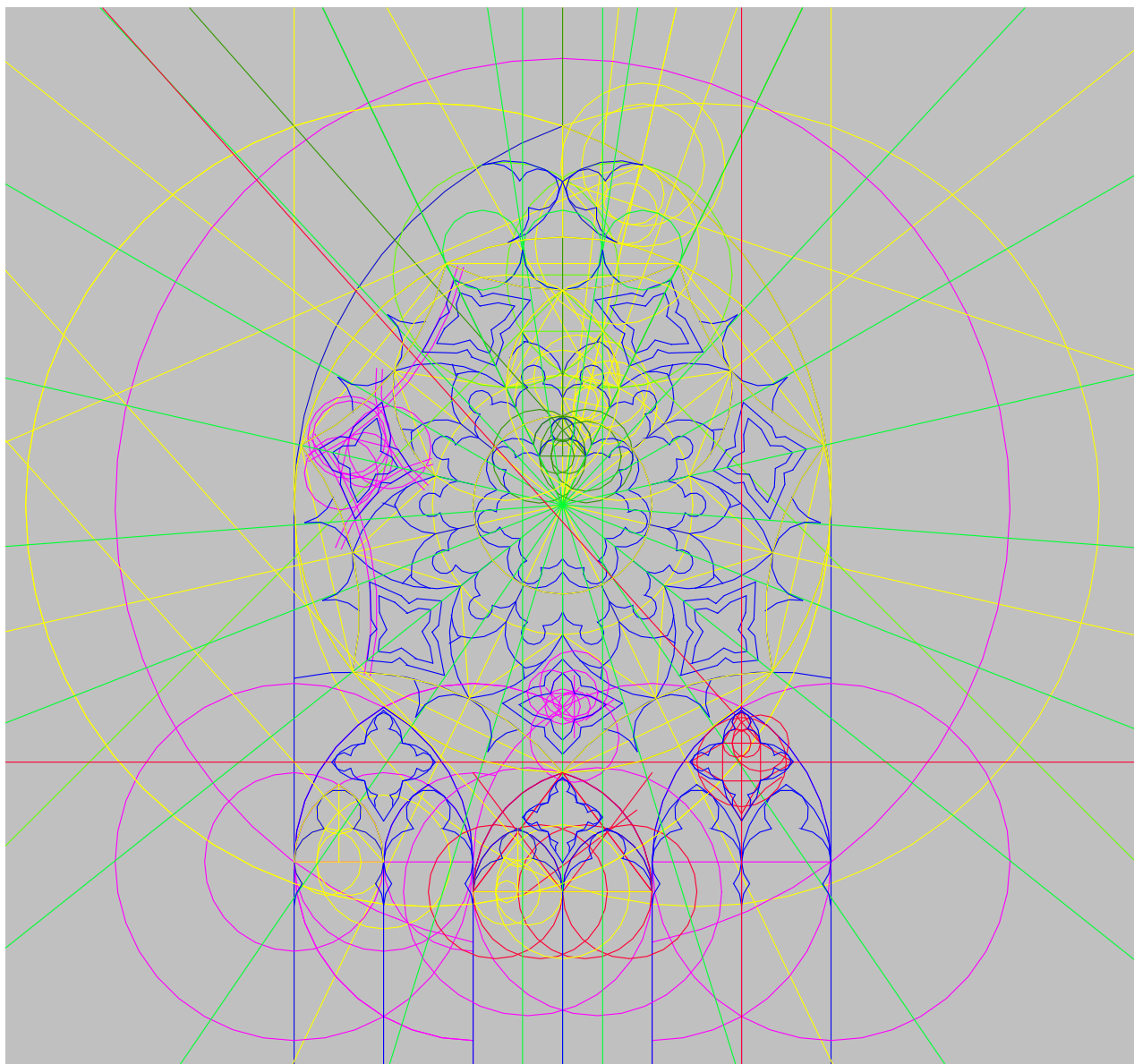
- Pomocí jednadvaceti polopřímek vycházejících ze středu k_2 rozdělíme čočku na tři shodné části
- Sestrojení svislic procházejících průsečíkem dělicích paprsků a vrchní hrany čočky
- Sestrojení tří kružnic, které se dotýkají svislic a spodní hrany čočky

5.13 Výplň spodních lomených oblouků

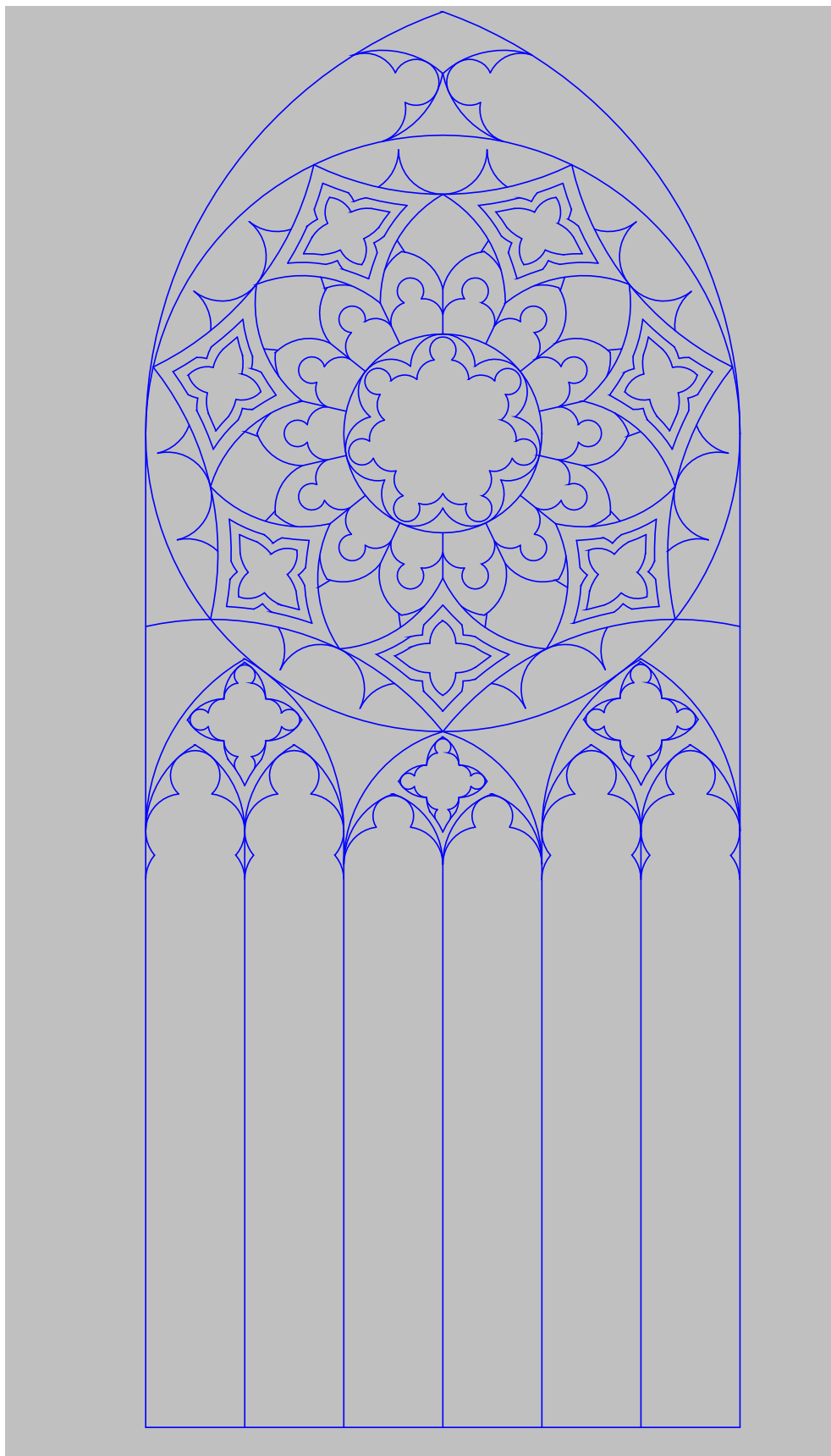


- Do prostoru tvořeného základním lomeným obloukem a dvěma menšími lomenými oblouky z konstrukce 5.5 a 5.4 byl vepsán libovolný čtverec
- Nad stranami čtverce byly sestrojeny základní lomené oblouky (podle konstrukce 3.1.2)
- Do daných oblouků jsme vepsali mnišku (dle konstrukce 3.3.2)
- U lomeného oblouku a mnišky, která je o 180 stupňů otočená nám jak lomený oblouk, tak mniška přecházejí v offset dvou menších lomených oblouků
- stejnou konstrukci provedeme i u zbylých dvou lomených oblouků pod kružnicí k_2

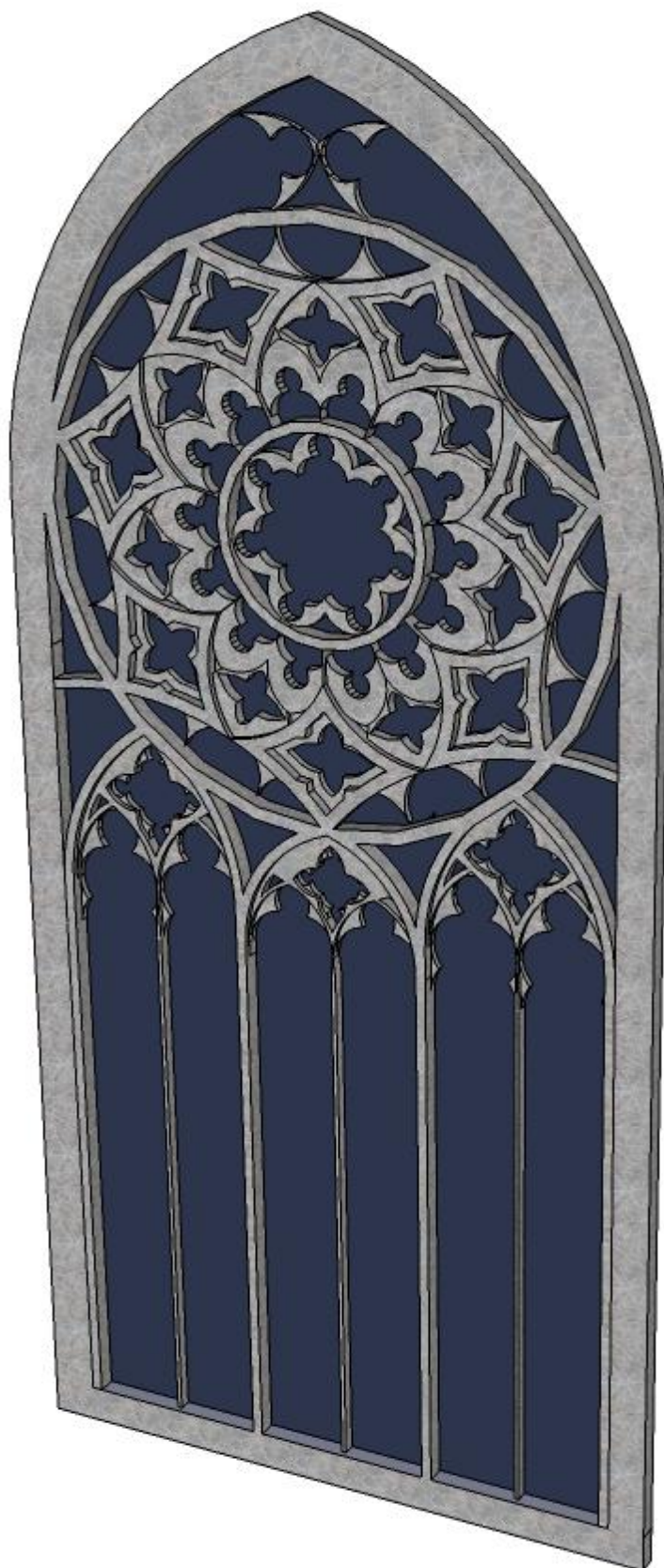
5.14 Konstrukce s pomocnými čárami



5.15 Výsledná konstrukce



5.16 Konstrukce v trojrozměrném provedení



Závěr

Při zhotovování této práce jsme zjišťovali, jak je gotická architektura nádherná. Rekonstrukce kružeb, složitost kleneb a propracovanost jednotlivých gotických památek nás přesvědčila o umění tehdejší doby. Zjistili jsme, jak náročné je postavit takovou stavbu a kolik let úsilí museli vynaložit lidé, kteří se do takového díla pustili. V jednotlivých částech jsme objevovali geometrické pravidelnosti a zákonitosti, v celé stavbě pak dokonalou souhru těchto částí a dalších dekorativních prvků, které celé dílo dělaly ještě více složitějším a krásnějším.

Gotická architektura patří ve srovnání s jinými k našim oblíbeným, už jen proto, že se ve velkých, prostorných katedrálách, kostelech atd. necítíme stísněně, ale naopak, pocítujeme monumentálnost stavby.

Díky této práci se nám podařilo proniknout hlouběji do dané tematiky. Nemyslím si, že jsme uvedli všechny možné informace, co se týče gotické architektury, ale i přesto si myslím, že vypracování této seminární práce mělo smysl, zejména pro ty, co se chtěli s tímto tématem alespoň trochu seznámit.

Použité zdroje

Literatura:

- Bečvář Jindřich a kol.: *Matematika ve středověké Evropě*. Praha: Prometheus, 2001
- Haas Felix: *Vývoj architektury a umění ve středověku*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta architektury, Ediční středisko VUT Brno, 1987
- Herout Jaroslav: *Staletí kolem nás*. 3. doplněné vydání, Praha: Orbis 1970
- Hylská Barbora: *Kružby na katedrále sv. argoty v Kutné Hoře*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, bakalářská práce, 2008
- Mencl Václav: *České středověké klenby*. Praha: Orbis 1974
- Šarounová Alena: Gotická architektura a geometrie. In: Bečvář Jindřich a kol.: *Matematika ve středověké Evropě*. Praha: Prometheus, 2001, s. 401 – 429
- Šarounová Alena: Kružby gotických oken. In: Bečvář Jindřich a kol.: *Matematika ve středověké Evropě*. Praha: Prometheus, 2001, s. 431 – 445
- Štibrányi Ján: *Gotická architektúra*. Dejiny architektury středověku II. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1994
- Tesařová Aneta: *Geometrie v gotické architektuře*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, bakalářská práce z matematiky, 2008
- Ullmann Ernst: *Svět gotické katedrály*. Praha: Vyšehrad 1987

Internetové zdroje:

- Gotika. *Wikipedie.cz* [online] Naposled změněno 15. 12. 2009 (cit. 20. 12. 2009). Česky. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.cz/wiki/Gotika>>
- Gotická architektura. *Wikipedie.cz* [online] Naposled změněno 24. 11. 2009 (cit. 13. 12. 2009). Česky. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Gotick%C3%A1_architektura>
- Gotika (architektura). *Referaty-seminarky.cz* [online] Naposled změněno 23. 9. 2006 (cit. 13. 12. 2009). Dostupné z: <<http://referaty-seminarky.cz/gotika-architektura/>>
- Brno – augustiniánské opatství s bazilikou Nanebevzetí Panny Marie. *Jizni-morava.cz* [online] Naposled změněno 26. 7. 2007 (cit. 13. 12. 2009). Dostupné z: <http://www.jizni-morava.cz/Pamatky/Cirkevni/Brno_Augustinianske_opatstvi_sbazilikou_Nanebevzeti_Panny_Marie/&offset=15>
- Šarounová Alena: *Gotika a geometrie*. [online] Dostupné z: <http://www.karlin.mff.cuni.cz/~sarounov/> (cit. 13. 12. 2009)
- Liška Petr: *Apolloniova úloha*. [online] Dostupné z: https://is.muni.cz/th/150476/prif_b/Bakalarska_prace.pdf/ (cit. 20. 2. 2010)
- Tesařová Aneta: *Geometrie v gotické architektuře*. [online] Dostupné z: http://is.muni.cz/th/139520/prif_b/Bakalarka.pdf/ (cit. 2. 12. 2009)

Hylská Barbora: *Kružby na katedrále sv. Barbory v Kutné Hoře*. [online] Dostupné z: https://is.muni.cz/th/175503/prif_b/Bakalarka.pdf/ (cit. 4. 12. 2009)

Flidr Aleš: *Porta Coeli*. [online] Dostupné z: http://www.portacoeli.cz/downloads/dp_mgr_ales_flidr_porta_coeli.pdf/ (cit. 26. 11. 2009)

Porta Coeli – cisterciácké opatství kláštera Porta Coeli. *portacoeli.cz/* [online] (cit. 20. 11. 2009). Dostupné z: < <http://www.portacoeli.cz/historie.html> >

Daniel Mrázek: *Výtvarné umění gotiky – architektura*. [online] Dostupné z: <http://vpjvm.sweb.cz/cesky/casopis/gotika.htm/> (cit. 4. 12. 2010)

Dobiášová Kateřina: *Webové stránky pro výuku geometrických zobrazení na střední škole*. [online] Dostupné z: http://www.karlin.mff.cuni.cz/katedry/kdm/diplomky/katerina_dobiasova/ (cit. 22. 2. 2009)

Fotky:

Porta Coeli – cisterciácké opatství kláštera Porta Coeli. *portacoeli.cz/* [online] (vloženo 28. 11. 2009). Dostupné z: < <http://picasaweb.google.com/klaster.portacoeli/PortaCoeli#5274391143029125522> >

Tesařová Aneta: *Geometrie v gotické architektuře*. [online] Dostupné z: http://is.muni.cz/th/139520/prif_b/Bakalarka.pdf/ (vloženo 25. 2. 2010)

Libor Just, Jan Krnáč: *Porta Coeli*. [online] Dostupné z: http://www.spsstavbrno.cz/Socrates/html/cz/stavby/tisnov_porta_coeli_cz.html/ (vloženo 10. 12. 2009)

Gotická klenba. *Wikipedie.cz* [online] Naposled změněno 13. 7. 2009 (vloženo 10. 12. 2009). Český. Dostupné z: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Gotick%C3%A1_klenba >