

# Oprava chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře

Fajman Petr, Kott Jiří, Vinař Jan



## Annotation:

If we look for reasons of rising deflechts in historical buildings we have to know their history with the past rebuilding. After this we can draw localization cracks and we can start to find out causes.

## Úvod

Chrám svaté Barbory v Kutné Hoře je unikátní památkou, kde byl použit opěrný systém typický pro katedrály. Stavba chrámu byla započata ve čtrnáctém století. Chrám byl několik set let postupně budován významnými mistry (?Petr Parléř?, Matěj Rejsek, Benedikt Rejt). Po uzavření

stavby dočasnou stěnou v roce 1595 se střídala období chátrání a obnovy. Poslední rozsáhlou opravu vedl Josef Mocker a Ludvík Lábler na konci 19. století, kdy byl chrám prodloužen o jedno pole s novým západním průčelím, porušený opěrný systém lodi byl nahrazen novým z hořického pískovce v mírně pozměněném tvaru, byly obnoveny stanové střechy a celý vnější plášť chrámu byl opraven. Po stu letech od opravy byl opěrný systém i vnější plášť opět v havarijním stavu, který si vyžadoval neodkladné zajištění.

## Poruchy

Při přípravě opravy byly zjištěny poruchy vnějšího pláště, vitrají a opěrného systému. Byla zpracována projektová dokumentace, která slouží přípravě a realizaci stavby a zároveň bude i v budoucnu důležitým zdrojem informací.

### Poruchy vnějšího pláště

Častou poruchou je chemická koroze hořického pískovce při styku s mušlovým vápencem. V mušlovém vápenci, který je kutnohorským tradičním stavebním kamenem, se v důsledku expozice kyselým deštěm tvoří roztok sádrovce. Pokud je mušlový vápenec nad hořickým pískovcem, roztok nateče do hořického pískovce v kterém sádrovec zkrystalizuje. Krystalizací nabude na objemu a roztrhá kámen. Oprava je prováděna výměnou poškozených kamenů.



### Poruchy opěrného systému

U opěrného systému jsou staticky porušeny hlavně opěrné oblouky. Jedná se o pokles a rozevření spar mezi kameny. Spáry se rozevírají od horního okraje u vysoké lodi a u opěrného pilíře. Uprostřed rozpětí je rozevřena na spodní straně oblouku (viz obrázek). Vždy je porušen více dolní opěrný oblouk než horní. Dolní oblouk v čele katedrály měl u opěrného pilíře spáru rozevřenou natolik, že se do ní dala vsunout dlaň. Rozevřením styčných spar se zmenšila styčná plocha pro přenos tlakových sil a na některých místech začínalo docházet k porušení příčným tahem.

Pro rozhodování o způsobu opravy je nutné znát příčinu vzniku poruch. Při přípravě opravy byly vyšetřovány následující příčiny porušení - vliv založení, dynamické účinky od okolní dopravy (silniční i letecká) a cyklické teplotní změny.

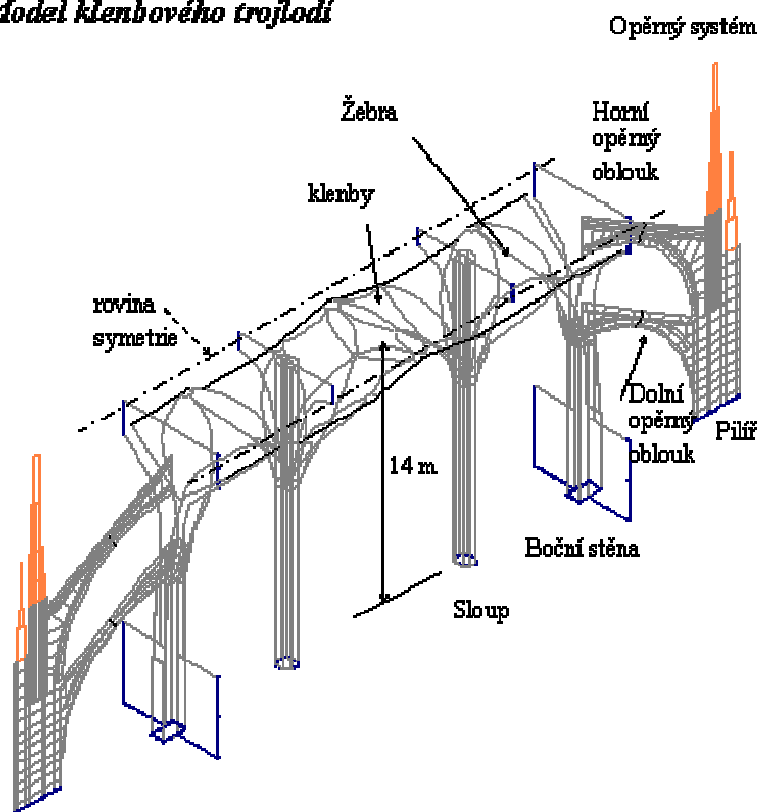
Založení chrámu - chrám sv. Barbory stojí na uměle vytvořené terase, která se vypíná na hraně údolí řeky Vrchlice. Ze sond provedených v okolí chrámu vyplývá, že chrám je založen na kamenné rovnanině na pevném písčitém vápenci (R3 – R2). Hloubka dosaženého povrchu písčitých vápenců

pod terénem je značně rozdílná, ale nenachází se v ní hladina podzemní vody. Podloží písčitých vápenců tvoří vápnné pískovce, vápnné slepence a ruly, pararuly a migmatity se stříbrnosnými žilami. Zajímavou otázkou je míra poddolování této lokality. Na vedutě Kutné Hory od Čáslavského (1674) jsou kresleni horníci při práci na šachticích a zhruba v ose chrámu na patě svahu pod chrámem je zející otvor štol. V devatenáctém století zakreslil v těchto místech Hozák dvojici ústí štol. Lze tedy předpokládat, že podloží chrámu sv. Barbory je protkáno sítí štol stejně jako město Kutná Hora. Bohužel přesný rozsah poddolování území nikdo nezná. Za nebezpečné pro stabilitu objektů jsou v literatuře označovány vertikální šachty, které sloužily průzkumu či těžbě. S ohledem na založení chrámu na skalním podloží se lze domnívat, že při zakládání chrámu byly případně starší šachty skryté v nadložních nesoudržných zeminách nalezeny a zřejmě překlenuty. V historických záznamech není popisována oprava základů chrámu a ani v současné době nejsou žádné poruchy spojovány s chybným založením. Při poklesu základů by byla nejvíce porušena čelní stěna, která je bez závad. Pootočení kolem vnější hrany základu bylo také vyloučeno, neboť by nutně vedlo k většímu porušení horního oblouku oproti dolnímu, což je přesně naopak. Z uvedeného lze usuzovat, že i přes náročné základové podmínky byla stavba založena správně.

Pro určení vlivu dynamických účinků na statiku objektu bylo v roce 2002 provedeno dlouhodobé měření. Výsledky měření neprokázaly významný vliv dynamických účinků okolního prostředí na vznik poruch.

Nejvíce odpovídalo danému porušení nějaké pomalé cyklické zatěžování např. teplota. Pro potvrzení předpokladů byly vytvořeny rovinné i prostorové statické modely v programu FEAT.

### Model klenbového trojlodí



Obr. 3 Schéma počítaného výseku

### Výpočet

Možné poruchy membránové napjatosti se zachytily modelováním konstrukce pomocí stěnodeskových prvků, s napětím ve střednici a s deskovými momenty. Schéma počítaného výseku je na obr. 3. Pro výpočty bylo zatížení voleno s ohledem na výskyt trhlin a podle možného skutečného působení. Materiálové složení systému je z takřka homogenního pískovce – po upřesnění byly brány materiálové charakteristiky hodnotou  $E = 12 \text{ GPa}$ ,  $\nu = 0,2$ ,  $\alpha = 0,00001$ . Tyto hodnoty byly v souladu s normou.

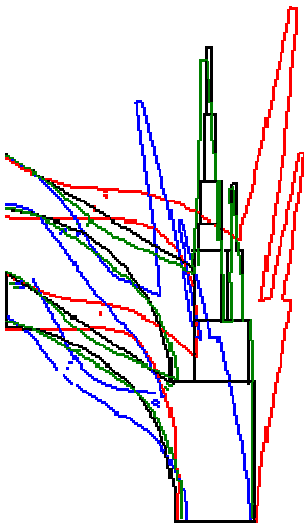
- Vlastní hmotnost – měrná tíha je brána hodnotou  $21 \text{ kN/m}^3$ . Charakter trhlin ukazoval, že by toto zatížení mohlo být významné.

- Vítr – byl uvažován dle normy kolmo na rovinu a rovnoběžně s rovinou opěrného systému. Nebyly

zohledněny tzv. skupinové efekty. Výsledné namáhání však nebylo příliš velké.

- Teplota – rovnoměrné oteplení/ochlazení opěrné konstrukce o  $10 \text{ C}$ . Z výsledků vyplynulo, že toto zatížení je významné. Jde o rychlejší oteplení/vychlazení opěrného systému oproti chrámové lodi.

- Teplota – rovnoměrné oteplení/ochlazení pilíře a dolního oblouku o 10 C. Tento stav může vzniknout při nerovnoměrném vychládání (oteplení) horního oblouku oproti zbylé konstrukci. Výsledky výpočtů ukázaly, že rozhodující vliv na vznik tahových napětí v obloucích a tím i na tvorbu trhlin má teplotní zatížení.



Obr. 4 deformace

### Výsledky

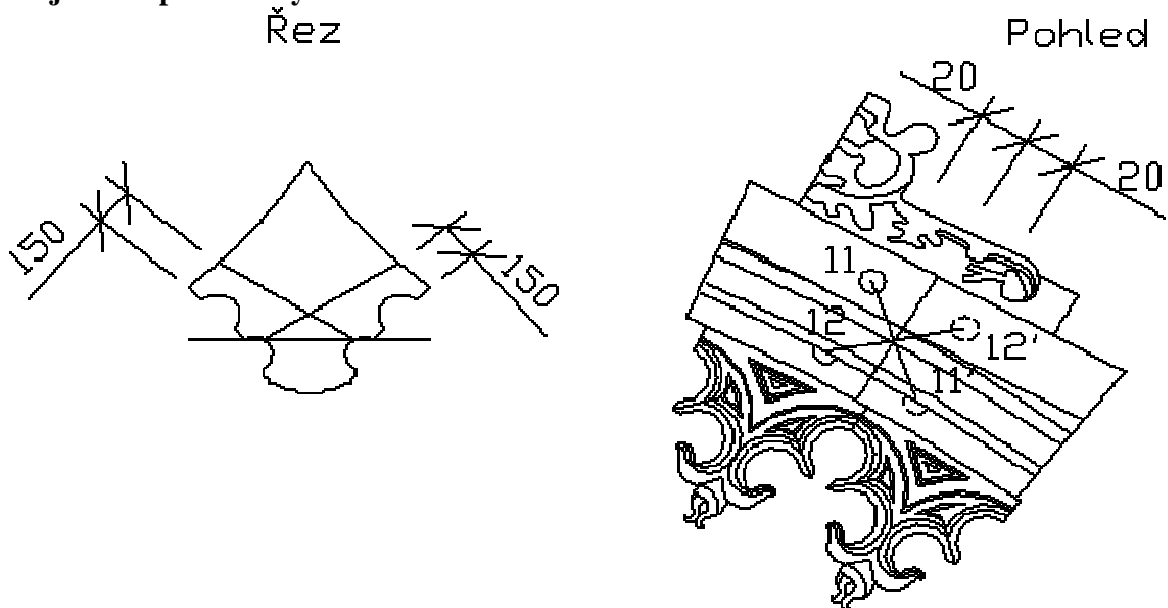
Z výsledků vyplývá, že *silové účinky* nejsou bezprostřední příčinou špatného stavu opěrného systému. Vlastní tíha předepíná dolní oblouk silou 87 a horní silou 14 kN. Zatížení větrem pak na návětrné straně předpětí ubírá na 64 resp. 5 kN a na závětrné straně zvyšuje předpětí na 135 resp. 58 kN. To je způsobeno vodorovným zatížením od střechy. Je vidět, že ve všech obloucích zůstane i při nepříznivém bočním zatížení větrem předpětí a k výraznému rozevírání spar by nemělo dojít ani na méně namáhané návětrné straně. Konstrukce je velmi dobře navržena na toto zatížení. Malý nedostatek je vidět u horního oblouku, který je výrazně méně namáhan a lze se jen dohadovat z jakého důvodu byl vystavěn.

Vliv *teploty* na vnitřní konstrukce - klenby, stěny a sloupy je velmi malý a je omezen na oblast opěrného systému. Nejslabším místem jsou oblouky, které navíc vstřebávají rozdílné deformace mezi pilířem a lodí. Koncentrace deformací je pak logickou příčinou vzniku trhlin. Ochlazení

o 5° vyvolává tahové síly v dolním oblouku o velikosti 63 kN a v horním 37 kN.

Výsledky jasně prokázaly, že největší namáhání je způsobeno střídáním teploty. V obr. 4 jsou vykresleny deformace od vlastní tíhy (zeleně), od oteplení (červeně) a od ochlazení (zeleně).

### Způsob zajištění opěrného systému



Při přípravě projektu byly zvažovány různé způsoby statického zajištění opěrného systému. Byla posuzována účinnost a proveditelnost řešení a také památkové hledisko. Nakonec bylo dosaženo konsenzu a byl zvolen způsob spojení klenáků pomocí vystrojených vrtů. To vyhovělo požadavku Národního památkového ústavu, aby se doplňovaná konstrukce pohledově neuplatňovala, i statickému hledisku příliš nezvyšovat tuhost konstrukce.



Principem zajištění je sepnutí sousedních klenáků ocelovými pruty přes spáru v blízkosti neutrální osy průřezu. Předepsaná tolerance jádrových vrtů  $\varnothing 20\text{mm}$  je  $\pm 30\text{mm}$ . Do takto provedených vrtů je vložena výztuž Helibar 10mm. Výztuž Helibar je ve vrtu zalita maltou Mape-antique I. Výztuž vložená do vrtů přenáší smykovou sílu a brání tím jednotlivým kamenům v propadávání vůči sobě. Situování vystrojených vrtů do blízkosti neutrální osy zajišťuje, že síly procházející opěrnými oblouky nebudou vnášeny do nových poloh. Všechny spáry mezi kameny, u kterých hrozí

rozvolňování smykovou silou, jsou zabezpečeny tímto způsobem.

### **Závěr**

Doufáme, že navržené zajištění opěrného systému chrámu svaté Barbory v Kutné Hoře bude mít delší životnost než Mockerova úprava opěrného systému.

Oprava chrámu je kolektivním dílem, na kterém se podílí mnoho odborníků od geodetů, přes historiky, památkáře, projektanty, statiky, specialisty z oboru přírodních věd i technologie, restaurátory, lešenáře, specializované řemeslníky až po dělníky. Jsme rádi, že všichni přistupují k této práci zodpovědně a s velkým zápalom pro věc. Zároveň doufáme, že výsledkem našich snah bude i spokojenost dalších generací se stavem chrámu.

**Výsledky uvedené v příspěvku byly získány za dílčí podpory výzkumného záměru MSM 6840770001.**

### **Literatura:**

- [1] Fajman Petr: "Jaký je stav chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře", Stavitel 2003/4 s. 30-32
- [2] Fajman Petr: "Prostorové působení konstrukce chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře", Stavitel 2004/4 s. 50-52
- [3] Fajman Petr, Kott Jiří, Vinař Jan: " Zajištění opěrného systému chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře", Stavitel 2005/6
- [4] MURUS : Kutná Hora chrám sv. Barbory – průzkumy a analýza 1a 2 úseku IV/2, část "Prostorový výpočtový model klenby s opěrným systémem Chrám sv. Barbory v Kutné Hoře", zpráva leden 2004