

Sanace vybraných klenbových konstrukcí konventu kláštera premonstrátů v Teplé

Jiří WITZANY, Tomáš ČEJKA, Klára KROFTOVÁ, Václav MARŠÍK, Radek ZIGLER

ANOTACE: V rámci rozsáhlé obnovy části objektů v areálu kláštera premonstrátů v Teplé byla provedena ojedinělá sanace klenbových konstrukcí ve dvorním traktu konventu. Stabilizace a sanace provedená pásy kompozitu z vysokopevnostních uhlíkových vláken a epoxidové pryskyřice aplikovanými na povrchu klenbového zdiva představuje novou neinvazivní a šetrnou metodu zpevnění narušených klenbových konstrukcí. V článku je popsán návrh a postup stabilizace a zpevnění kleneb nad křížovou chodbou v konventu v 1. NP porušených průběžnou, místy výraznou tahovou trhlinou ve vrcholu klenby metodou nepředpjatých pásků z uhlíkového kompozitu. Článek zároveň dokládá důležitost teoretické a experimentální analýzy jako základu spolehlivého návrhu sanace a prevence před opakovaným výskytem poruchy při obnově památkově chráněných objektů.

Historický přehled

Premonstrátský klášter v Teplé je jednou z velkých klášterních fundací, které výrazně ovlivnily rozvoj západočeského regionu. Klášter premonstrátů byl založen vladykou Hroznatou ve druhé polovině 12. století a jeho dějiny vykazují nebývalou kontinuitu. Jako jediná z velkých západočeských fundací klášter přežil husitské bouře, třicetiletou válku i josefínské reformy. Budovy kláštera tvoří dnes spolu s objekty původního rozsáhlého hospodářského zázemí samostatný sídelní celek. V centru klášterního areálu se nachází konventní kostel Zvěstování Panny Marie, na nějž na jižní straně navazují budovy konventu a prelatury. K severní straně konventního kostela se připojují objekty knihovny a muzea z počátku 20. století. Západní část areálu je uzavřená hospodářskými objekty, na východní straně se kolem Parkového rybníku rozvíjí novodobá parková úprava. Na jižní okraj areálu navazuje Starý rybník.

Pro podobu předklášterního osídlení nemáme žádné konkrétní prameny. Postupný stavební vývoj areálu kláštera můžeme vyvozovat z jeho historických vyobrazení a stavebněhistorického průzkumu.¹ Významným zdrojem nových informací o vývoji klášterního areálu jsou poznatky vyplývající ze záchranného archeologického výzkumu a dalších průzkumných prací, které jsou prováděny v rámci probíhající obnovy podstatné části areálu kláštera.²

Klášter byl v průběhu své historie dvanáctkrát vypleněn, šestkrát vyhořel do základů, dvakrát jej zpusťoval mor a šestkrát mu hrozilo zrušení. Velký požár postihl klášter například na jaře 1659 a jeho obnova tehdy trvala až do roku 1663. Roku 1677 však zde vypukl další velký požár, který práce na obnově kláštera protáhl až do roku 1681.³



1

■ Poznámky

1 PANÁČEK, Michal; ŠIROKÝ, Radek. Klášter Teplá, čp. 1, Konvent a prelatura, Standardní stavebně-historický průzkum. Čj. 69/10. Plzeň, 2010. ZIP, o. p. s., Plzeň; ŠIROKÝ, Radek; STREJC, Martin. Klášter Teplá, ppč. 3/7, Kočárovna, Stavebně-historický průzkum, Inventarizace hodnotných uměleckořemeslných prvků. Plzeň, 2010. Čj. 68/10. ZIP, o. p. s., Plzeň; ŠIROKÝ, Radek; STREJC, Martin. Klášter Teplá, ppč. 1, ppč. 3/5, Ohradní zeď areálu na jižní straně a štolový systém mimo komplex prelatury a konventu, Stavebně-historický průzkum, Inventarizace hodnotných uměleckořemeslných prvků. Plzeň, 2010. Čj. 70/10. ZIP, o. p. s., Plzeň. První etapa průzkumu publikována in ŠIROKÝ, Radek; NOVÁČEK, Karel. První etapa výzkumu v areálu premonstrátské kanonie v Teplé. *Památky západních Čech I*. Plzeň: Národní památkový ústav, ÚOP v Plzni, 2011, s. 37–47. ISBN 978-80-85035-06-3.

2 V souvislosti s postupnou obnovou klášterního areálu

Obr. 1. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátů, konvent, klenbová konstrukce křížové chodby a) před provedením sanace, b) po provedení sanace. (Foto: autoři článku, 2015)

od 90. let 20. století bylo uskutečněno několik významnějších průzkumů stavební podstaty konventu. Hlavní pozornost byla věnována průzkumu a obnově historického kanalizačního systému a studní v základech nárožních rizalitů východního křídla konventu provedená v roce 1997. Současný archeologický a stavebně-archeologický výzkum v Teplé je součástí projektu *Vzorová obnova NKP Klášter premonstrátů Teplá*, financovaného z prostředků *Integrovaného operačního programu* Ministerstvem kultury. Výzkum byl zahájen v letech 2009 a 2010 výše citovaným standardním stavebněhistorickým průzkumem vybraných částí kláštera: konventu a prelatury, kočárovny v hospodářském dvoře, torzálních staveb a štolového systému

Obr. 2. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátů – a) schematické znázornění řezu objektem konventu; b) schematické znázornění půdorysu 1. NP konventu s křížovou chodbou a prelatury. (Kresba: autoři článku, 2015)

Raně barokní klášter byl ještě ve druhé polovině 17. století kombinací podstatné části středověkého konventu, pravděpodobně i zachované křížové chodby, opatského domu, paláce, refektáře a nově v 17. století přistavěných křídel jižního a východního dormitáře. Současný monumentální charakter vtiskla areálu velká vrcholně barokní přestavba opatství a konventu, která započala v roce 1689 a byla ukončena v roce 1725.⁴

Prelatura a konvent premonstrátského kláštera v Teplé jsou velkou srostlicí několika křídel pravidelně rozmístěných v pravoúhlém rasteru kolem dvou obdélných vnitřních dvorů. Pod úroveň podlahy prvního podzemního podlaží se podél vnější strany základů a podzemního zdiva konventu a prelatury nachází odvodňovací systém, jehož součástí jsou anglické dvorky ve vnitřní zahradě konventu, které slouží k přisvětlení suterénu a k odvodu srážkové vody z rajské zahrady.

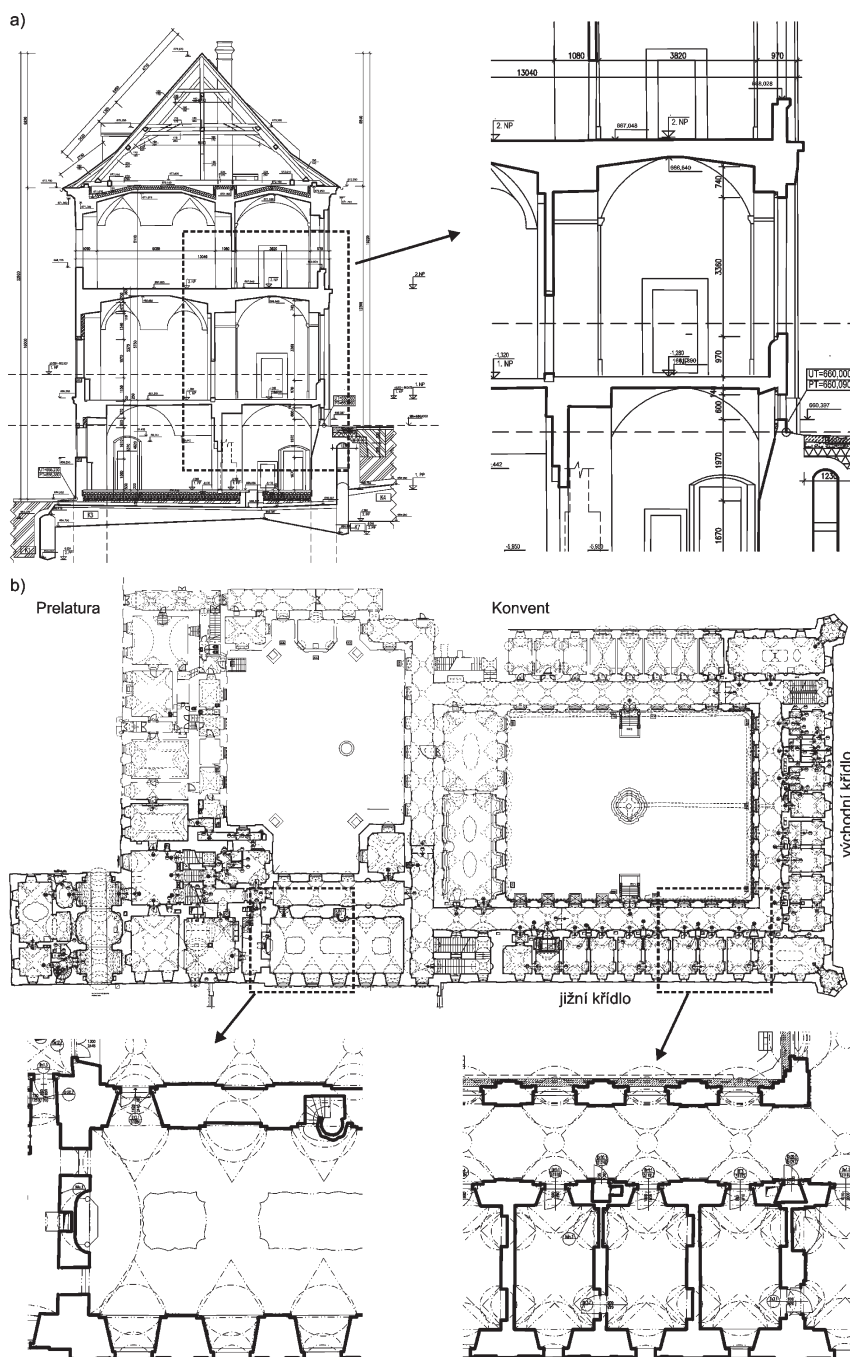
Rehabilitace a obnova klášterních budov,⁵ odstranění škod a neoborných zásahů narušujících částečně historickou hodnotu areálu, které vznikly při užívání objektu čs. armádou i v období poté, co armáda areál opustila, byly zahájeny až po restituci kláštera v roce 1990. V roce 2010 byl zahájen projekt obnovy, v rámci kterého je rekonstruováno jižní křídlo prelatury, jižní a východní křídlo konventu včetně severovýchodního nároží a navazující infrastruktura společně s dotčenými částmi štolových systémů a spodní stavby.

Stavebně-technický průzkum⁶ a zhodnocení jeho výsledků prokázaly celkově dobrý stav zděných konstrukcí konventu a prelatury, které byly předmětem průzkumu. U konstrukcí kleneb je situace složitější.

Sanace a stabilizace klenbových konstrukcí

Historické klenby, které jsou v současné době předmětem rekonstrukcí a obnovy památkově chráněných objektů, byly navrhovány na základě zkušeností a znalostí postupně získávaných při jejich realizaci. Později se tyto znalosti uplatnily ve formě jednoduchých empirických vztahů pro stanovení rozměrů a dimenzí hlavních nosných prvků na základě rozměrů zaklenovaného prostoru.

Mechanismus porušování klenbových konstrukcí je ovlivněn poddajností podpor, geometrickým tvarem klenby, charakterem a velikostí zatížení. K nejčastějším příčinám mechanických poruch kleneb patří vedle nadměrného



■ Poznámky

v jižní části areálu a severozápadního křídla hospodářského dvora. Vlastní archeologický výzkum započal v říjnu 2010, jeho terénní část byla provedena za dva měsíce.

3 HLINOMAZ, Milan. Klášter premonstrátů Teplá. Přehled dějin duchovního fenoménu Tepelska. Karlovy Vary : Státní okresní archiv Karlovy Vary, 2003. ISBN 80-239-0337-3.

4 Vrcholně barokní přestavba proběhla za opata Raimunda II. Wilferta a jejím autorem byl v první a rozhodující fázi Kryštof Dientzenhofer. Recentně a s odkazy na další literaturu např. MACEK, Petr; BACHTÍK, Jakub. Radikálně dynamická skupina a Kryštof Dientzenhofer. In MACEK, Petr; BIEGEL, Richard; BACHTÍK, Jakub. Barokní architektura v Čechách. Praha : Karolinum, 2015, s. 249–287. ISBN 978-80-246-2736-6. S. 275–276.

5 Projekt obnovy probíhal od roku 2008, kdy vznikl projektový záměr. Projekční práce probíhaly v roce 2010, realizační práce byly zahájeny v roce 2011 a projekt byl ukončen 30. 6. 2015. Projekt probíhal pod řízením společnosti BOLID M, s.r.o.

6 Základní stavebně-technický průzkum provedla firma STATIKA OLOMOUC v roce 2010 v rámci přípravy obnovy. K hlavním stavebním závadám a poruchám patří zvýšená a vysoká vlhkost části podzemního zdiva konventu a prelatury, degradované a narušené povrchové úpravy místech zvýšené vlhkosti, nefunkční a dřevokaznými procesy narušený systém dřevěných zedních a klenbových kleštin, narušení kleneb nad křížovou chodbou v 1. NP a dílčí (lokální) narušení zdiva nevýraznými trhlinami.



3

Obr. 3. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátní, konvent, klenbové konstrukce s nástrojnými malbami. (Foto: autoři článku, 2015)

nebo extrémního lokálního zatížení klenbové konstrukce především vodorovné a svislé deformace podpůrného systému nedostatečně zajištěného klenbovými tahly (kleštinami), přičemž zejména vodorovné deformace podpůrného systému jsou velmi častou příčinou poruch.⁷ V citované publikaci je mj. poukázáno na účinky změny teploty, které mohou při nedostatečné účinnosti klenbových táhel být příčinou vodorovných deformací podpory (podpor). Tyto vodorovné deformace např. jedné podpory řádově v desetinách milimetrů až v milimetrech mohou být příčinou narušení klenby, přičemž zejména cyklický charakter tohoto účinku vyžaduje mimořádnou pozornost.

Dosud používané metody sanace a stabilizace kleneb – rubová a lícni železobetonová skořepina, zavěšení klenby, provedení rubových pásů apod. – vyžadují ve větším, popř. menším rozsahu zásahy, popř. i změny původní historické konstrukce. V posledních deseti letech jsou proto výzkumně i v praxi ověřovány metody sanace a stabilizace klenbových kon-

strukcí pomocí kompozitů na bázi vysokopevnostních vláken aplikovaných na povrchu historické klenbové konstrukce bez jejího narušení, prostřednictvím epoxidového nebo polymercementového pojiva. Významným znakem těchto metod je jejich reverzibilita.

Kompozity na bázi FRP (fiber-reinforced polymer) byly zpravidla aplikovány celoplošně jako zesilující, popř. stabilizační opatření pro zajištění historických kleneb. Kompozity z vysokopevnostních uhlíkových, popř. skleněných vláken umístěné na rubu historických kleneb plní funkci jako zpevňující opatření proti dynamickým účinkům technické a přírodní seismicity, na líci kleneb jako zesilující konstrukce v místech výskytu tahových napětí, popř. tahových a smykových trhlin. Jsou známy příklady zesílení klenbových konstrukcí např. v Britské Kolumbii na katedrále ve Viktorii nebo na klenbové konstrukci v Baixa Pombalina v Lisabonu.⁸ Řada celoplošných aplikací byla provedena zejména v Itálii, např. Chiesa di S. Martino, Teatro Ebe Stignani, Imola⁹ a další. V Itálii byly použity vysokopevnostní transparentní kompozity na bázi GFRP aplikované na povrchu omítky klenby opatřené nástrojnými malbami, např. ve Vatikánském muzeu v Římě.

V oblastech se zvýšeným nebezpečím přírodní seismicity (Itálie, Portugalsko) je tato metoda aplikována jako preventivní opatření před porušením historicky významných klenbových konstrukcí a památkových objektů. V České republice lze vyčlenit osm oblastí,¹⁰

■ Poznámky

7 WITZANY, Jiří; WASSERBAUER, Richard; ČEJKA, Tomáš; ZIGLER, Radek. PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha : Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.

8 CÔIAS, Viktor. Preserving “Baixa Pombalina” through low intrusive seismic rehabilitation methods. The COMREHAB project. *International Millennium Congress. ICOMOS. UNESCO, Paris, September 2001.*

9 BENEDETTI, Andrea; BETTINI, Alessandro; BATTAGLIA, Alessandro. Intervento di restauro conservativo e miglioramento strutturale del teatro comunale “Ebe Stignani” di Imola. *Ingegneri, Architetti, Costruttori*. 2009, roč. 64, č. 698, s. 233–242. ISSN 0391-6537.

10 SCHENK, Vladimír; SCHENKOVÁ, Zdeňka. Maps of Seismic Zones in Recent Czech National Codes. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*. 1997, roč. 4, č. 2, s. 9–11. ISSN 1803-1447.

Obr. 4. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátů, konvent – a) historický systém dřevěných klenbových táhel a kleštín; b) napojení ocelových táhel provedených v rámci současně probíhající rekonstrukce na původní kotvení historických dřevěných klenbových táhel; c) kleštiny nad 2. NP provedené v rámci rekonstrukce v letech 2004–2008. (Foto: autoři článku, 2015)

kteří jsou charakterizováni seismickým ohrožením do 7° MSK – 64 (přibližně 500 mm.s⁻²): Kraslicko (7°), Český Les (6°), Východní část Krušných hor (6°), Slezsko (6°), Severovýchodní Čechy (7°), Západní Karpaty a karpatská předhlubeň (7°), Jižní Čechy (6°), Jižní Morava (6°). V těchto oblastech se celkem nachází přes 18 000 kulturních památek a 133 národních kulturních památek.¹¹

Níže popsaná metoda zpevnění narušené klenbové konstrukce pomocí pásků kompozitu na bázi FRP a epoxidové pryskyřice aplikovaná diskretně na líci zdiva porušené klenby je dosud ojedinělým řešením. K jeho přednostem patří výhody výše zmíněných postupů, tj. minimální narušení původní historické konstrukce a reverzibilita.

Klenbové konstrukce ve dvorním traktu konventu

Objekt konventu je převážně dvoutraktový s jedním podzemním a dvěma nadzemními podlažními a dřevěným krovem. Nosné stěny ze smíšeného kamenného zdiva uspořádané v podélném směru objektu tloušťky od cca 1 m a do 1,5 m jsou založeny na zděných základových pásech s hloubkou základové spáry pravděpodobně až na úroveň skalního podloží. Zastropení jednotlivých podlaží tvoří převážně klenbové konstrukce provedené z cihelného zdiva tloušťky 150 mm s vápennou omítkou na lícni ploše. Valené klenby, valené klenby s lunetami, křížové klenby, zrcadlové klenby s lunetami a v některých místech česká plac-ka jsou v reprezentativních prostorách kláštera opatřené nástroji malbami.

Klenbové konstrukce nacházející se v chodbovém traktu jižního a východního křídla konventu (křížová chodba) nad 1. NP jsou tvořeny segmentovou cihelnou valenou klenbou s lunetami tloušťky 150 mm, rozponu 3,74 m a výšky 1,45 m. Klenba je vyzděna z plných pálených cihel klasického formátu na maltu vápennou na „obyčejný“ způsob. Nad klenbou je provedena podlahová konstrukce o celkové tloušťce ve vrcholu klenby 0,35 m sestávající z násypu a dlažby uložené do maltového lože. Násyp je tvořen stavební sutí s velkým obsahem jemnějších frakcí (úlomky cihel, směs písku a zbytků malty). V místě patek klenby je tloušťka stěn provedených ze smíšeného zdiva cca 1,2 m a 1,0 m.



Při poslední rekonstrukci 2. NP konventu, která probíhala v letech 2004–2008, byl na úrovni klenby nad 1. NP nahrazen původní systém zapuštěných dřevěných klenbových táhel systémem zapuštěných ocelových táhel o průměru (Ø) 18 mm, kotvených v obvodovém zdivu.

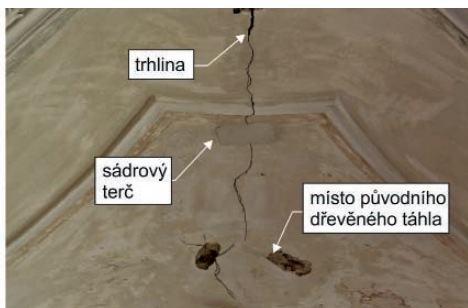
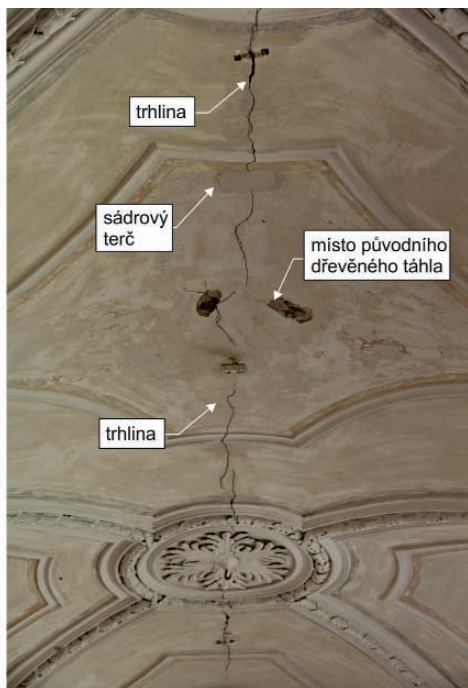
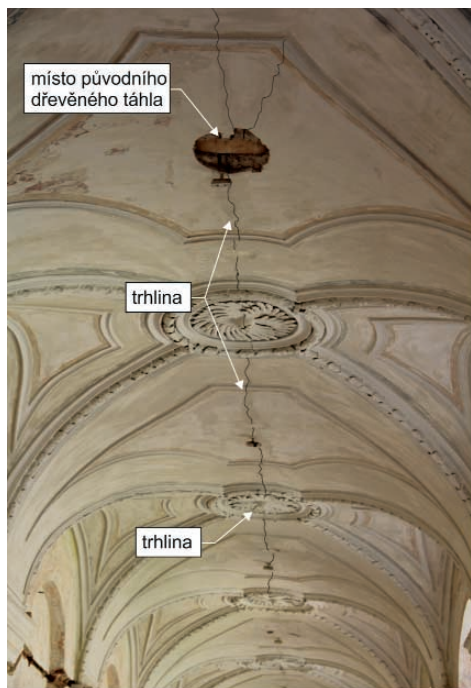
Narušení klenby nad křížovou chodbou v 1. NP konventu

Klenby nad chodbovým traktem jižního křídla konventu (křížovou chodbou), opatřené omítkou se štukovou úpravou a plastickými reliéfy, byly ve vrcholu narušeny výraznou průběžnou tahovou trhlinou a dílčími tahovými trhlinami v místě křížení klenby. Trhliny v některých klenbových polích dosahovala po od-

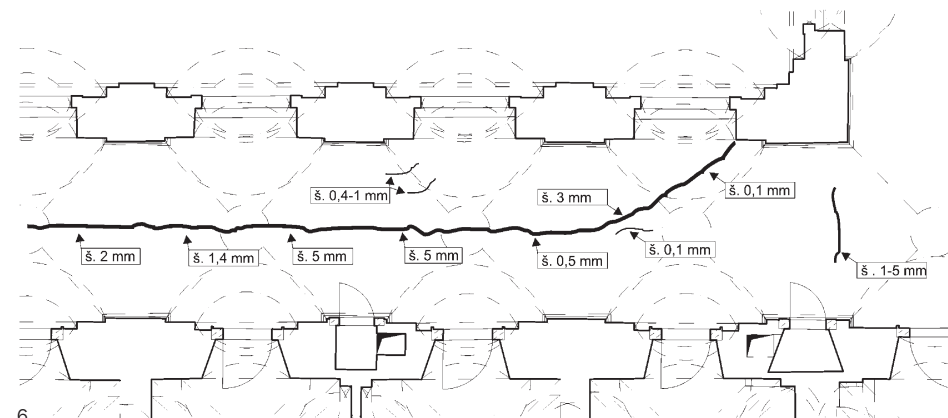
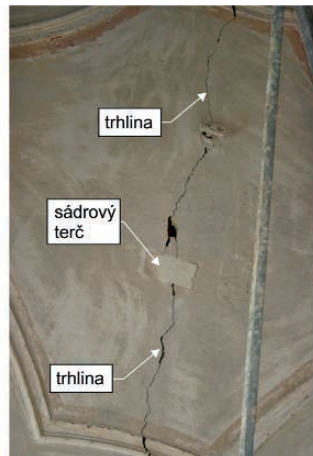
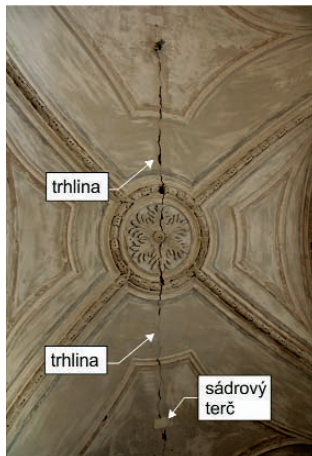
stranění omítky šířky 5 až 40 mm. Podobně klenby nad chodbovým traktem východního křídla konventu v 1. NP byly ve vrcholové části narušeny výraznými tahovými trhlinami. V porovnání s trhlinami v jižním křídle měly tyto trhliny menší šířku. Charakter trhlin – převážně nenarušený obrys (kontury) trhlin – dokládá, že se jedná o tahové, nikoliv smykové trhliny. Na líci zdiva klenby není patrné drčení, popř. vrásknutí povrchových úprav poblíž pat klenby, které by mohlo dokládat výraznější vliv případných tahových trhlin v těchto oblastech na ru-

■ Poznámky

11 Monumnet – databáze památek NPU, <http://monumnet.npu.cz>.



5



6

Obr. 5. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátů, konvent, tahové trhliny v klenbových konstrukcích křížové chodby v 1. NP. (Foto: autoři článku, 2015)

Obr. 6. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátů, konvent, narušení kleneb nad křížovou chodbou konventu v 1. NP. (Foto a kresba: autoři článku, 2015)

bu klenby (tzv. kritické oblasti valených kleneb se středovým úhlem větším než 120°).

Na spodním líci některých kleneb nad chodbovými trakty jižního a východního křídla konventu v 1. NP byla v místě původních dřevěných táhel odpadlá (narušená) omítka a byla viditelná ocelová táhla Ø 18 mm provedená v rámci předchozí rekonstrukce. Otevřené lunety jsou podle dostupných zjištění vyzděny na valené klenbě a nejsou se zdívkou podpor (vnitřní a obvodová stěna) provázány.

Poloha otevřené tahové trhliny – ve vrcholu, v líci klenby – odpovídá charakteristickému narušení valených kleneb způsobenému tahovými napětími ve zdivu klenby od účinku svislého zatížení, popř. charakteristickému narušení valených kleneb způsobenému zejména vodorovnými deformacemi (posunem) podpor (tlaková výslednicová čára vybočuje z jádra průřezu klenby a přimyká se k vrcholu).

V případě obou uvedených pravděpodobných příčin narušení klenby ve vrcholu tahovou trhlinou na líci kleneb má významnou roli spolehlivá funkce a účinnost táhel. Přestože se jedná o velmi masivní zděnou konstrukci s převládajícím uspořádáním hlavních nosných stěn v podélném směru jižního a východního křídla konventu propojených v několika místech příčně orientovanými stěnami, je nutné, aby uvedený systém nosných stěn byl doplněn účinnými táhly – kleštinami zedními a klenbovými.

Původní, převážně hnilobou a dřevokaznými houbami narušená dřevěná táhla kleneb nad 1. NP umístěná (zazděná) ve vrcholu kleneb tuto funkci nemohla spolehlivě zajistit.

Analýza poruch klenbových konstrukcí nad chodbovým traktem konventu

Pro zjištění stavu napjatosti a deformací klenbového systému nad křížovou chodbou v 1. NP a rozložení teplotního pole zděných stěn a kleneb v zimním období byla provedena numerická analýza pomocí speciálního počítačového programu.¹²

Analýza účinku svislého zatížení kleneb (vlastní tíha klenbové konstrukce, tíha násypu a podlahové konstrukce) přenášeného zděný-

■ Poznámky

¹² MKP (ANSYS) – Metoda konečných prvků.

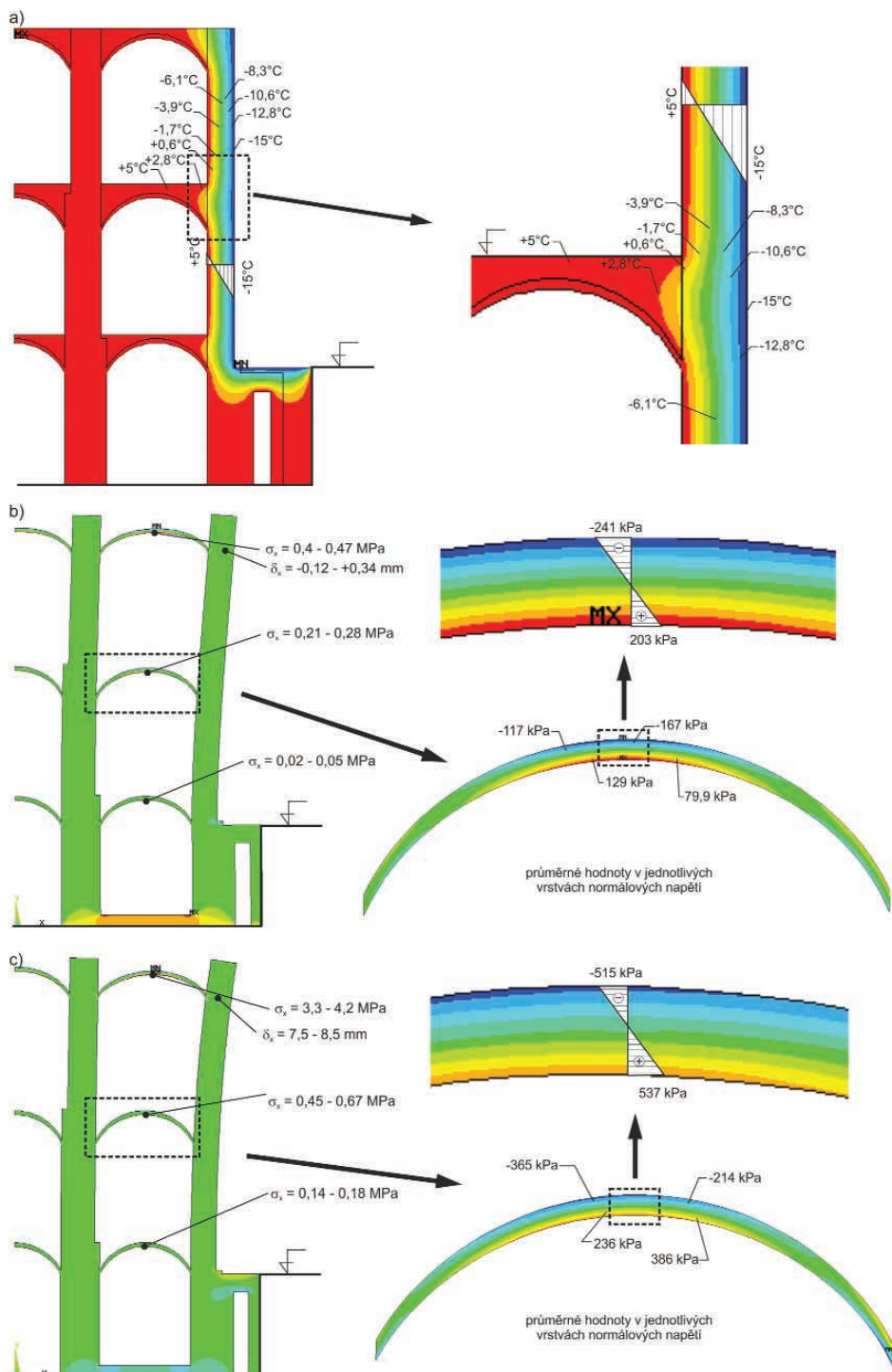
Obr. 7. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátů, konvent – a) analýza teplotního pole MKP obvodové stěny křížové chodby; b) analýza napjatosti klenbové konstrukce od účinku svislého zatížení; c) analýza napjatosti klenbové konstrukce od účinku teploty. (Grafika: autoři textu, 2015)

mi klenbami prokázala možnost vzniku tahových napětí v oblasti vrcholu klenby. Za předpokladu, že nedochází k vodorovnému posunu podpor (při dokonalém systému klenbových táhel), neprokázala analýza vznik tahových napětí na spodním líci klenby. V případě nedostatečně účinného systému klenbových táhel dochází k vodorovnému posunu a ke vzniku tahových napětí¹³ v oblasti vrcholu klenby nad 1. NP v hodnotách, které jsou vyšší než pevnost zdiva kleneb v tahu. Lze oprávněně předpokládat, že tahová napětí od účinku svislého zatížení mohou být příčinou vzniku tahové trhliny ve vrcholu v ložné spáře zdiva klenby. Analýza účinku svislého zatížení přenášeného zděnými klenbami prokázala také v případě nedostatečně účinných hnilobou narušených dřevěných klenbových táhel možný vodorovný posun obvodové zdi o velikosti cca od 1 do 1,3 mm v místě podpory tvořené obvodovou stěnou.

Jako další možná příčina byl zkoumán vliv teplotního spádu v obvodové stěně v zimním období, při vnitřní teplotě chodbového traktu +5 °C a vnější teplotě -15 °C. Uspořádání podpor klenby – vnitřní zděná stěna nacházející se v konstantní teplotě vnitřního prostředí a obvodová stěna vystavená klimatickým změnám vnějšího prostředí – zvyšuje riziko porušení klenby od účinku změny teploty. Účinkem tepelného spádu v obvodové stěně dochází k vodorovným deformacím (posunům) podpory klenby provázeným vznikem relativně vysokých tahových napětí v klenbových konstrukcích.¹⁴ Zejména valené klenby jsou mimořádně citlivé na vodorovný posun podpor nedostatečně zajištěných neúčinnými klenbovými táhly v porovnání se svislým posunem (poklesem) podpor.

Nesilový účinek teploty je charakteristický svým opakováním, kdy při každé změně teploty dochází k opakovanému nízkocyklickému namáhání zdiva klenby provázenému nárůstem trvalých deformací a při dosažení mezní deformace k následnému vzniku trhlin.

Na základě provedené analýzy narušení kleneb nad křížovou chodbou konventu v 1. NP a jeho zabezpečení systémem původních dřevěných (neúčinných) táhel lze označit jako pravděpodobné příčiny mechanických poruch kleneb křížové chodby nad 1. NP účinek svislého zatížení kleneb a účinek opakovaných (cyklických) namáhání a deformací podpůrného systému, zejména obvodové chodbové stěny, způsobených objemovými změnami obvodové



ho zdiva změnou a nerovnoměrným rozložením teplotního pole v obvodové zdi spolu s nedostatečně účinným zajištěním kleneb dřevěnými kleštinami.

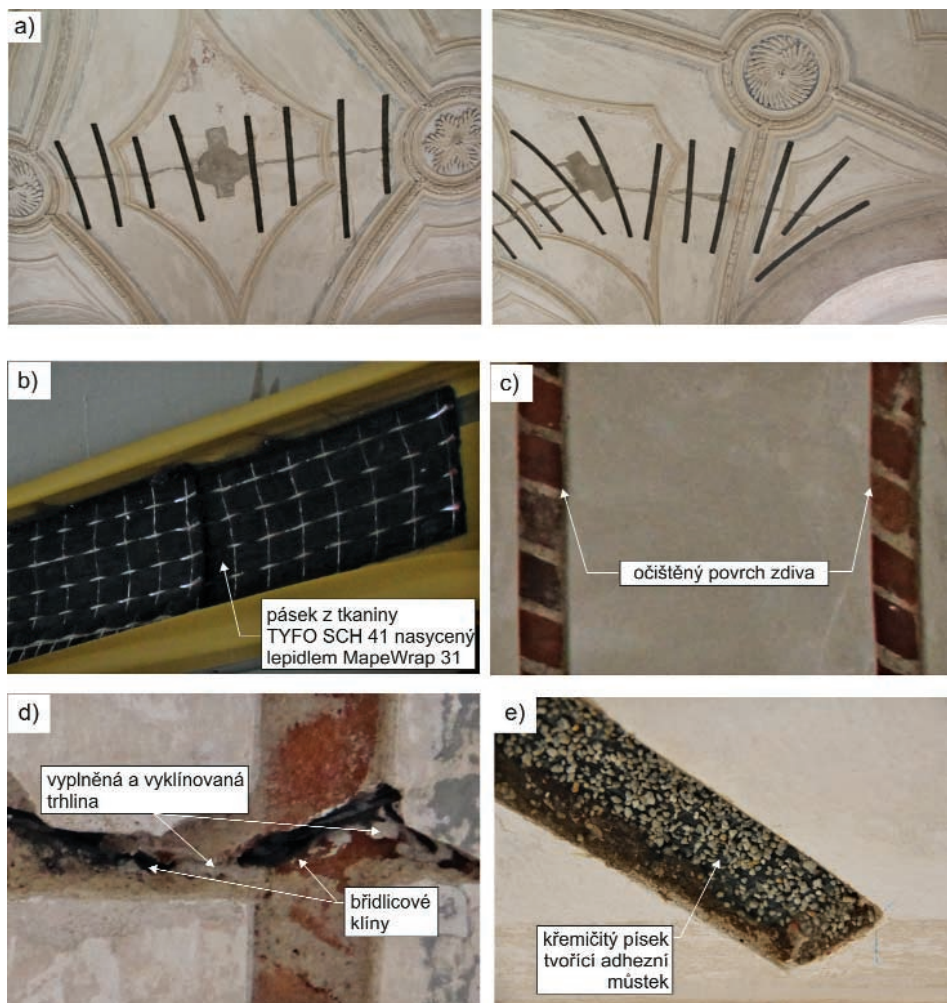
Při analýze a hodnocení zejména účinku teploty¹⁵ je třeba přihlídnout ke skutečnosti, že vypočtené hodnoty byly stanoveny za předpokladu lineární pružného homogenního zdiva obvodové stěny. Lze předpokládat, že přenos normálových napětí kamenným zdivem z neopracovaných lomových kamenů rozdílné velikosti, tvaru a druhu s nerovnoměrným obsahem vápenného pojiva po průřezu zdiva je provázen řadou lokál-

■ Poznámky

13 Tahová napětí $+\sigma_x$ v oblasti vrcholu klenby nad 1. NP o velikosti od +0,21 do +0,28 MPa. Pevnost zdiva v tahu v případě, že k porušení dochází v pojivu, dosahuje hodnot přibližně 0,02 MPa (ČSN 731101).

14 Dochází k vodorovným deformacím (posunu) podpory klenby – obvodové zdi u úrovni paty klenby nad 1. NP účinkem teplotního spádu po průřezu obvodové zdi v rozsahu od 0,7 mm do 1 mm (při zatížení teplotou o hodnotě $\Delta t = 20$ °C) a vzniku relativně vysokých tahových napětí v klenbových konstrukcích o velikosti od +0,4 do +0,67 MPa.

15 Tj. hodnoty normálových napětí $+\sigma_x$ a hodnoty celkových deformací obvodové stěny.



Obr. 8. Teplá (okres Cheb), klášter premonstrátů, konvent, postup aplikování zpevňujících pásek na narušené klenbě nad 1. NP – a) příklad zesílení klenbových polí pásky kompozitu na bázi uhlíkových tkanin; b) příprava uhlíkových pásek šířky 45 mm ze středně tlusté uhlíkové tkaniny TYFO SCH 41, nasycení dvousložkovým epoxidovým lepidlem MapeWrap 31; c) mechanické očištění povrchu zdiva obnaženého v drážce včetně vyfoukání tlakovým vzduchem; d) vyklínování trhlin větších než 3 mm břídicovými klíny, uzavření trhliny a následná injektáž vyklínované trhliny vápennou maltou vhodné konzistence; e) vložení a přilepení pásek kompozitu do připravených drážek opatřených epoxidovým lepidlem MapeWrap 31 a jejich zaválcování včetně aplikace křemičitého písku s velikostí zrn do 4 mm do nezatuhlého epoxidového lepidla na vnějším povrchu uhlíkových pásek. (Foto: autoři článku, 2015)

Aplikace uhlíkového kompozitu v oblastech kleneb, kde dochází ke vzniku tahových napětí, zvyšuje únosnost a deformační vlastnosti (duktilitu) zděné klenby, brání vzniku tahových trhlin a současně zvyšuje stabilitu klenby. Teoretický a experimentální výzkum prováděný v rámci výzkumného projektu NAKI – DF12P010VV037 „Progresivní neinvazivní metody stabilizace, konzervace a zpevňování historických konstrukcí a jejich částí kompozitními materiály na bázi vláken a nanovláken“ prokázal nárůst mezních hodnot zatížení zděných segmentových valených kleneb zesílených uhlíkovým, popř. skleněným kompozitem, zatížených symetricky dvěma svislými břemeny ve třetinách rozpětí kleneb o 90 až 250 % v porovnání s hodnotou mezního zatížení nezesílených kleneb a nárůst hodnot deformací při vzniku trhlin o 30 až 35 % v porovnání s hodnotou nezesílené klenbové konstrukce (zvýšení ductility). Vzhledem k šetrnému charakteru použitého přístupu a jeho vysoké účinnosti je možné doporučit užití kompozitů na bázi tkanin z vysokopevnostních vláken v obdobných případech stabilizace klenebních a svislých zděných konstrukcí.

Článek vznikl v rámci výzkumného projektu Progresivní neinvazivní metody stabilizace, konzervace a zpevňování historických konstrukcí a jejich částí kompozitními materiály na bázi vláken a nanovláken (kód projektu DF12P010VV037), financovaného z Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní kulturní identity (NAKI).

■ Poznámky

16 DF12P010VV037 „Progresivní neinvazivní metody stabilizace, konzervace a zpevňování historických konstrukcí a jejich částí kompozitními materiály na bázi vláken a nanovláken“.

8

ních přetváření zdiva, která ve svém souhrnu výrazně redukuje jak hodnoty normálových napětí, tak zejména účinek vynucených deformací obvodové stěny změnou teploty. S uvážením této skutečnosti je třeba interpretovat výsledky numerické analýzy.

Stabilizace a sanace narušených kleneb nad křížovou chodbou v 1. NP

Na základě výsledků provedených rozborů¹⁶ byla navržena stabilizace a zpevnění narušených kleneb pomocí nepředepnutých pásek z uhlíkového kompozitu a epoxidové pryskyřice lepených epoxidovou pryskyřicí na očištěný líc klenbových konstrukcí v místech porušení kleneb tahovými trhlinami. Po příslušných technologických přestávkách byly do provedených drážek s urovnanou kontaktní plochou prostřednictvím epoxidového lepidla vlepeny pásky kompozitu. Následně byly drážky opatřeny jádrovou omítkou tvořenou vápennou směsí s drcenou původní omítkou odstraněnou z drážek. Tím došlo k částečnému navrácení původního historického materiálu. Následovalo provedení finální štukové vrstvy. Pásky z uhlíkového kompozitu byly vytvořeny z jedno-

směrně pnuté uhlíkové tkaniny TYFO SCH41 a lepidla na bázi epoxidové pryskyřice MapeWrap 31. Nepředepnuté pásky z uhlíkového kompozitu šířky 45 mm, délky 0,7 (poblíž křížení valené klenby a lunet – nepravých žeber) až 1,5 m (mezi pilíři) byly vlepeny do drážek v omítkě kolmo na probíhající tahovou trhlínu. Vzdálenost pásek byla navržena v rozmezí od cca 0,45 do 0,55 m. Podle rozsahu a šířky trhlin bylo v rámci jednoho klenbového pole aplikováno 5–9 pásek. (Postup aplikace zpevňujících pásek je schematicky dokumentován na obr. 8.)

Shrnutí

Popsaná neinvazivní metoda stabilizace a zpevnění narušených zděných konstrukcí kompozitu na bázi vysokopevnostních vláken umožňuje na rozdíl od dosud běžně používaných metod (např. rubová, lícni železobetonová skořepina, vkládání výztuže do drážek, vyvěšení klenby apod.) výrazně omezit narušení původní historické konstrukce s výjimkou dočasného odstranění povrchových úprav v místech aplikace zpevňujících pásek kompozitu. Z tohoto hlediska je metoda plně reverzibilní.