

TENZOMETRICKÉ MERANIE KROVU KATEDRÁLY SV. MARTINA V BRATISLAVE POČAS TERMOSANÁCIE

Jaroslav Sandanus, Miloš Slivanský¹

1 ÚVOD

Tenzometrické merania na nosnej konštrukcii deveného krovu nad presbytériom Katedrály sv. Martina v Bratislave boli vykonané v rámci tepelnej sanácie (termosanácia) spomenutej drevenej konštrukcie. Termosanácia je moderná metóda sanácie drevených konštrukcií, ktorá je zameraná na likvidáciu drevokazného hmyzu pôsobením zvýšenej teploty.

Vzhľadom na skutočnosti, že ide o pomerne málo na Slovensku rozšírenú sanačnú metódu a súčasne bola použitá na historicky významnom objekte, úlohou meraní bolo sledovať, ako významne zvýšená teplota ovplyvňuje stav a správanie nosnej konštrukcie a či sú spozorované zmeny trvalé, alebo len dočasné.



Obr. 1.1 – Pohľad na strešnú konštrukciu a inštalácia vykurovacích agregátov

1.1 Termosanácia - podstata metódy a technológia

Cieľom tepelnej sanácie je celoplošná likvidácia drevokazného hmyzu a všetkých jeho vývojových štádií v napadnutej drevenej konštrukcii. Aby bolo možné považovať proces termosanácie za úspešne vykonaný, je potrebné dosiahnuť vo vnútri drevenej substance (jadro prierezu) teplotu minimálne 55°C počas doby trvania minimálne 1 hodinu.

Zvýšenie teploty drevenej konštrukcie sa najčastejšie realizuje vháňaním horúceho vzduchu do priestoru dreveného krovu prostredníctvom teplovzdušného potrubia napojeného na teplovzdušné agregáty. Teplota "vyrábaného" a vháňaného vzduchu podľa veľkosti konštrukcie a dĺžky prívodného potrubia dosahuje 100 až 120°C.

Proces termosanácie krovu nad presbytériom Katedrály sv. Martina v Bratislave bol vzhľadom na rozsah konštrukcie rozdelený na 3 etapy. Ako prvá bola ohrievaná časť strešnej konštrukcie presbytéria spojená s vežou, ako posledná bola ohrievaná časť strešnej konštrukcie nadväzujúca na strešnú konštrukciu nad hlavnou loďou katedrály.

¹doc. Ing. Jaroslav Sandanus, PhD., Ing. Miloš Slivanský, PhD., *Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering, jaroslav.sandanus@stuba.sk, milos.slivansky@stuba.sk*

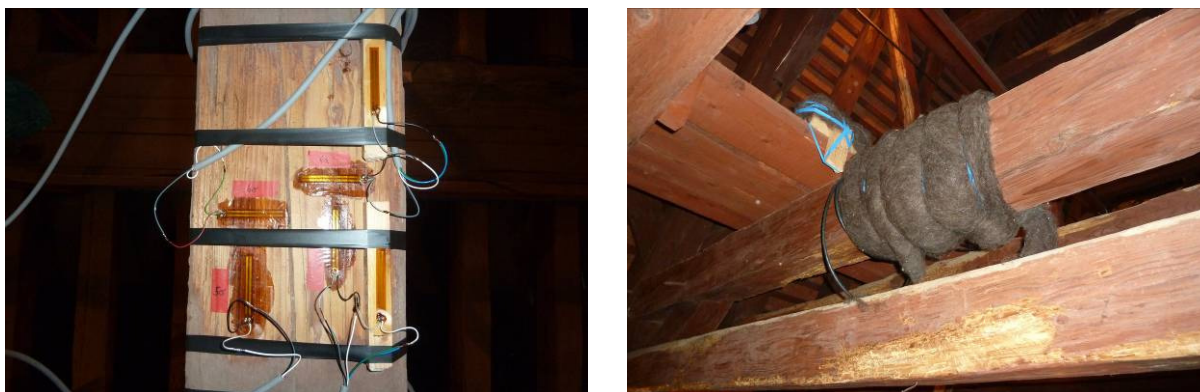
1.2 Nosná konštrukcia krovu - nosný systém a meracie miesta

Krov nad presbytériom je štvorpodlažná konštrukcia. Konštrukčný systém prvých dvoch podlaží je vzperadlový rám vo forme ležatej stolice so zdvojeným stĺpikom v osi krovu s funkciou vešadla. Tretie podlažie je väznicová sústava - stojatá stolica s podopretím väzného trámu v strede väzby. V pozdĺžnom smere je krov vystužený krížovými vystužovadlami medzi ležatými stolicami plných väzieb v rovine strechy a vzperkami stojatej stolice v treťom podlaží krovu.



Obr. 1.3 – Nosná konštrukcia krovu nad presbytériom

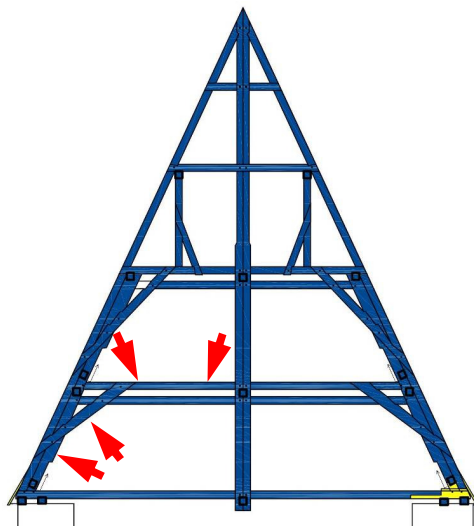
Vplyv zmeny teploty počas termosanácie bol sledovaný tenzometrickým meraním. Na meranie pomerných deformácií drevených prvkov sa použili odporové tenzometre, ktoré boli osadené na povrchu vybraných nosných prvkov. Lokalizácia meracích miest bola zvolená s ohľadom na nosný systém krovu (prvky, kde je možné očakávať jednoduchý stav napätosti pri rovnomernej zmene teploty = osový ťah/tlak) a dostupnosť pre montáž tenzometrov. Meracie tenzometre boli osadené v plnej väzbe buď na hornej hrane horizontálnej vzpery (hambálok) v úrovni "stropu" prvého poschodia konštrukcie krovu (celkovo 10 meracích miest), alebo na povrchu šikmej vzpery v úrovni prvého poschodia konštrukcie krovu (celkovo 2 meracie miesta). Jeden tenzometer bol osadený mimo konštrukcie - na samostatnej drevenej vzorke.



Obr. 1.4 – Osadenie tenzometrov na prvku a prekrytie prekryté izolačnou vrstvou

1.3 Meracie zariadenia

Vzhľadom na charakter a cieľ meraní (vplyv zmeny teploty na napätosť konštrukcie) boli použité 2 typy zapojenia tenzometrov - polomost bez kompenzačného tenzometra (s presným odporom) a polomost s kompenzačným tenzometrom. Meracie miesto sa pred spustením termosanácie obalilo izolačnou vlnou, aby sa zabránilo jeho prípadnému lokálnemu prehriatiu od vháňaného horúceho vzduchu.

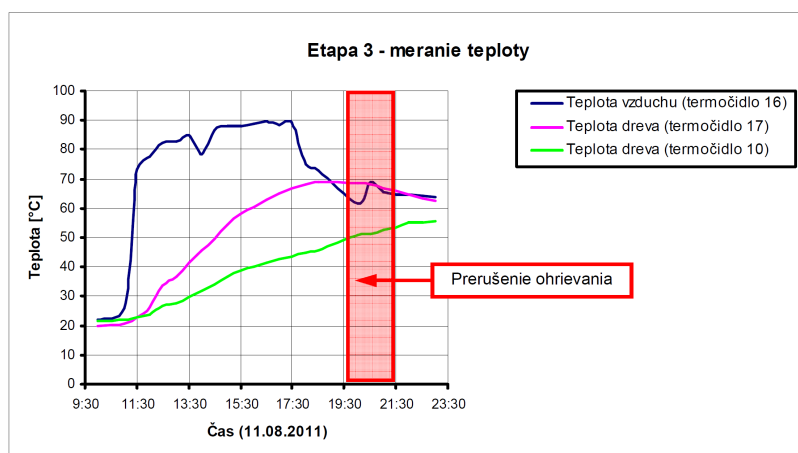


Obr. 1.5 – Priečny rez konštrukcie krovu nad presbytériom (plná väzba) a lokalizácia meracích miest

2 PRIEBEH A VYHODNOTENIE MERANÍ

2.1 Meranie teploty

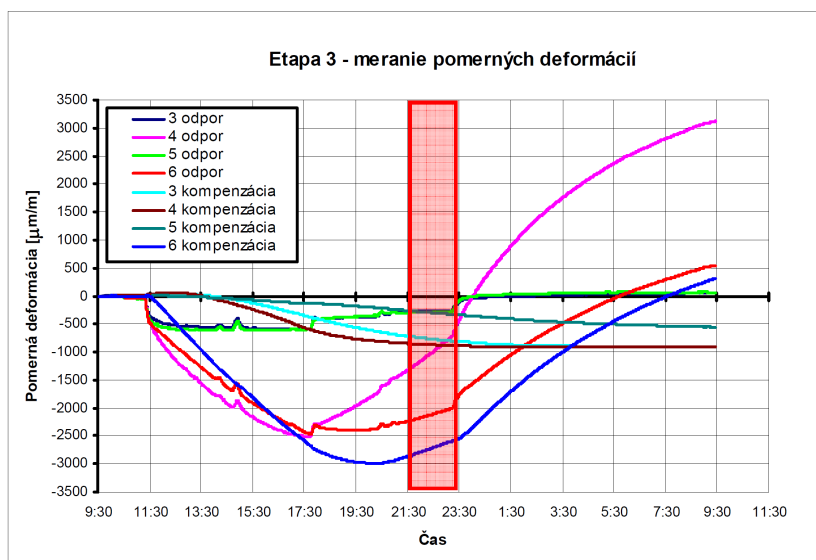
Vývoj teploty v krove počas termosanácie bol zaznamenávaný pracovníkmi firmy Thermo Sanace s.r.o. na viacerých miestach nosnej konštrukcie krovu. Záznam merania teplôt pre vybrané miesta ilustruje obr. 2.1.



Obr. 2.1 – Meranie teploty v čase vo vybraných prvkoch počas termosanácie v Etape 3

2.2 Pomerné deformácie

Na základe výsledkov nameraných pomerných deformácií je možné konštatovať, že vzhľadom na objemové zmeny materiálu sa pravdepodobne na povrchu výraznejšie prejavuje zmena objemu vplyvom zmeny vlhkosti (vysychanie, napučíavanie) ako zmena objemu vplyvom teplotnej rozťažnosti materiálu. Keďže zmena vlhkosti drevených prvkov nebola počas termosanácie meraná, nie je možné vyhodnotiť priamu závislosť medzi jej zmenou a meranými pomernými deformáciami. Vzhľadom na fyzikálne vlastnosti dreva je však možné takisto očakávať výraznejší vplyv zmeny vlhkosti ako vplyv zmeny teploty na jeho objemové zmeny (súčinitele objemovej rozťažnosti vplyvom zmeny vlhkosti sú približne 10^4 krát väčšie ako súčinitele teplotnej rozťažnosti).

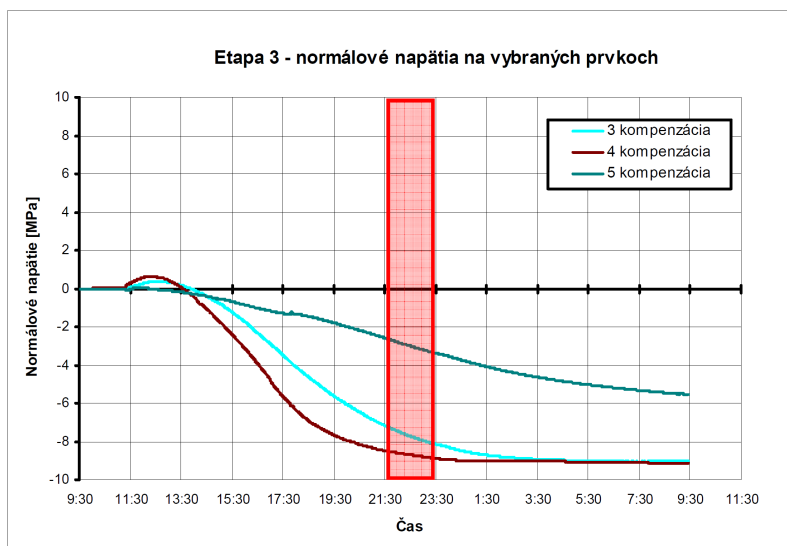


Obr. 2.2 – Meranie pomerných deformácií v čase počas termosanácie v Etape 3

Taktiež sa výraznejšie prejavila zmena objemu prvkov v smere kolmo na vlákna v porovnaní so smerom rovnobežným s vláknami. Namerané hodnoty pomerných deformácií kolmo ku vláknami (4 odpor, 6 odpor, 6 kompenzácia) sú niekoľkonásobne väčšie ako pomerné deformácie merané rovnobežne s vláknami. Takáto tendencia rovnako korešponduje s teoretickými údajmi o objemovej rozťažnosti dreva, kde sa obecné udáva pomer medzi jednotlivými smermi $\alpha_{Tan} : \alpha_{Rad} : \alpha_{Lin} = 15:10:1$ (približne rovnaký pomer platí aj pre zmenu objemu vplyvom vlhkosti aj pre teplotnú rozťažnosť).

Výraznejšie objemové zmeny sa pravdepodobne objavili iba v povrchových vrstvách materiálu, pretože vo väčšine prípadoch výsledky pomerných deformácií relatívne verne sledujú zmenu teploty v krove v procese jeho termosanácie (nárast teploty = nárast pomerných deformácií) a po ochladení krove sa postupne vytrácajú. Treba však poznamenať, že výsledky z meracích miest bez kompenzácie (označenie zapojenia "odpor") sú zaťažené aj vplyvom teploty na merací obvod (tenzometer, napájacie káble a pod.), preto je možné sledovať skôr tendencie meraných údajov ako vyhodnocovať presné numerické výsledky. Pri použití kompenzácie, by malo byť skreslenie meraných výsledkov menšie, avšak nemožno ho taktiež vylúčiť, jednak z dôvodu, že drevo je výrazne nehomogénny materiál (hrče, trhliny, smer vlákien a pod.) a jednak z dôvodu, že kompenzačné tenzometre nebolo možné umiestniť

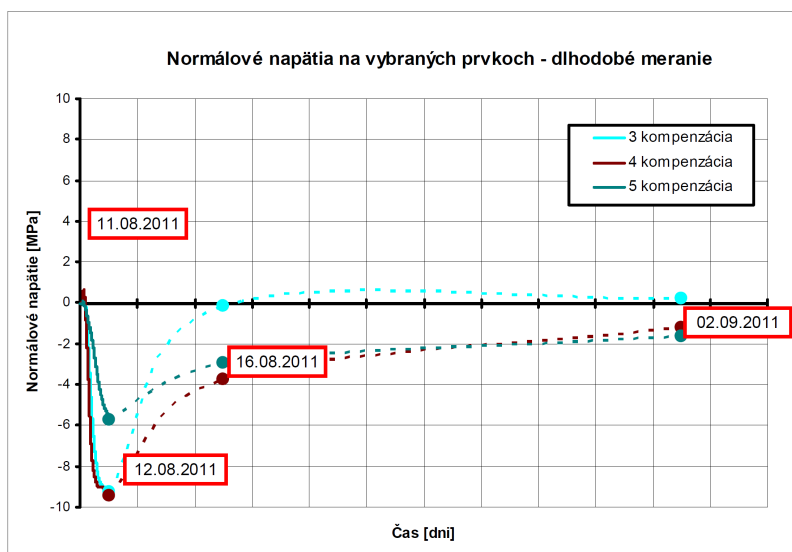
na vzorky dreva odobraté z konštrukcie krovu, ale boli použité vzorky bežne dostupného reziva.



Obr. 2.3 – Vyhodnotenie normálových napätí v čase počas termosanácie v Etape 3

2.3 Normálové napätia

Napätosť nosnej konštrukcie bola vyhodnotená iba pre meracie miesta s kompenzáciou a orientáciou tenzometrov rovnobežne s vláknami (označenie 1 - 5 kompenzácia). Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že vplyvom objemových zmien vznikajú vo vybraných prvkoch nosnej koštrukcie (hambálok, vzpera) prevažne tlakové napätia, ktoré pravdepodobne súvisia s teplotnou dĺžkovou rozťažnosťou materiálu, nakoľko ich nárast a pokles nesleduje vývoj okolitej teploty v krove, ale má určitý fázový posun, podobne ako pri priebehu teplôt meraných v jadre prierezov. Ani v čase ukončenia tenzometrického merania (niekoľko hodín po ukončení ohrievania) neboli napätia úplne vymiznuté (obr. 2.3).



Obr. 2.4 – Vyhodnotenie normálových napätí v čase podľa výsledkov dlhodobých meraní

Podľa výsledkov dlhodobých meraní na vybraných prvkoch však možno konštatovať, že normálové napätia postupne poklesli až na úroveň napätosti konštrukcie pred jej termosanáciou (obr. 2.4).

2.4 Vizualna obhliadka konštrukcie

Pred zahájením termosanácie a takisto po jej ukončení bola vykonaná vizuálna obhliadka drevenej konštrukcie. Na kontrolovaných prvkoch a ich spojoch neboli viditeľné žiadne poruchy, ktoré by bolo možné spájať s ohrievaním strešnej konštrukcie (nové alebo neprímerane roztvorené trhliny, uvoľnenie tesárskych spojov a pod.). Rovnako neboli spozorované počas procesu termosanácie žiadne iné prejavy vzniku porúch nosného systému (zvuky otrasy a pod.).

3 FORMULÁCIA ZÁVEROV

Na základe výsledkov meraní počas termosanácie strešnej konštrukcie nad presbytériom Katedrály sv. Martina v Bratislave je možné formulovať tieto závery:

- výrazná zmena (nárast) teploty v konštrukcii ovplyvňuje napätosť nosnej konštrukcie v dôsledku jej objemových zmien iba dočasne, po ochladení konštrukcie sa tento vplyv postupne vytráca,
- objemové zmeny v smere kolmom na vlákna sa prejavujú niekoľkokrát výraznejšie ako objemové zmeny v smere rovnobežnom s vláknami,
- objemové zmeny spôsobené teplotnou rozťažnosťou materiálu sú na povrchu prvkov pravdepodobne zanedbateľné vzhľadom na objemové zmeny súvisiace so zmenou vlhkosti dreva (vysušenie, napúčanie),
- pri vizuálnej kontrole stavu konštrukcie pred a po termosánácii neboli spozorované žiadne poruchy, ktoré by bolo možné prisudzovať nadmernému zvýšeniu teploty alebo neúmernému vysušaniu drevenej konštrukcie (trhliny, uvoľnenie spojov a pod.).

Vzhľadom na počet meraní je treba poznamenať, že sa išlo o pilotný projekt na Slovensku a na formuláciu všeobecných záverov by bolo potrebné urobiť väčší počet experimentálnych meraní, ktoré by vytvorili štatisticky hodnotiteľný súbor. Uskutočnené merania sú však dobrým predpokladom pre ďalší rozvoj termosanácie a výskum jej vplyvu na nosnú konštrukciu pri historicky významných objektoch.

LITERATÚRA

Sandanus, J., Slivanský M. (2011): *Tenzometrické meranie konštrukcie krovu nad presbytériom katedrály Sv. Martina v Bratislave počas termosanácie a určenie vplyvu termosanácie na nosnú konštrukciu krovu*, 2011, Bratislava