

Projekt „Rozvoj příhraniční spolupráce vysokých škol v oblasti historické architektury“

ITMS 22410320032

VPLYV MIKROKLÍMY PODSTREŠNÉHO PRIESTORU HISTORICKÉHO KROVU NA DREVENÚ KONŠTRUKCIU

Ing. Renáta Korenková, PhD.

1 Úvod

Výskum v oblasti podstrešných priestorov historických krovov, dlhodobo realizovaný na pracovisku autorky, je zameraný na sledovanie a analyzovanie mikroklímy s cieľom dosiahnuť vhodné podmienky prostredia na zachovanie historickej konštrukcie pre ďalšie generácie. V snahe dosiahnuť udržateľnosť stavu je analyzovaný vplyv vlhkosti vzduchu na vlhkosť drevených konštrukčných prvkov na zabránenie vzniku kritických vlhkostných stavov v závislosti od spôsobu prevetrávania priestoru. Okrajové podmienky zohľadňované pri analýze:

- Vonkajšie prostredie – teplota vonkajšieho vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, vietor, dážď, nadmorská výška, lokalizácia.
- Vnútorne prostredie – teplota, relatívna vlhkosť, prúdenie vzduchu.

Kritické vlhkostné stavy vznikajú pri prekročení hranice relatívnej vlhkosti na povrchu, pri dosiahnutí teploty rosného bodu na povrchu konštrukcie a pri prekročení rovnovážnej vlhkosti u stavebných materiálov so sorpčnými schopnosťami. V oblasti výskumu nás zaujíma najmä poškodenie drevených konštrukcií s historickou hodnotou vplyvom kritických vlhkostných stavov. Tiež sú riešené statické analýzy a analýzy biotického poškodenia so zohľadnením veku dreva, miery poškodenia a z toho vyplývajúcich zmien fyzikálno-mechanických vlastností.

2. Podstrešný priestor

2.1 Spôsoby prevetrávania podstrešného priestoru

V plošnom výskume historických krovov Slovenska bolo doteraz prebádaných cca 420 krovov v regiónoch Kysúc, Turca, Oravy, Liptova, čiastočne Horného Ponitria a Gemeru [1,2]. V každom krove bol zaznamenaný taktiež spôsob prevetrávania podstrešného priestoru. Otvory s podstatným vplyvom pre prúdenie vzduchu zaznamenané na obr. 1 sú:

- otvor B - otvory v najnižšej časti strechy v tvare úzkej štrbiny v mieste odkvapu,
- otvor C - otvory v štítových stenách (zväčša otvorené do exteriéru),
- otvor D - otvory v šikmej strešnej rovine (strešné okná – zväčša zatvorené),
- otvor E - otvory v šikmej strešnej rovine (vikiere – zväčša zatvorené),
- otvor F - otvory v najvyššej časti strechy (sanktusníky),
- otvor G - otvor v najvyššej časti strechy (hrebeňový vetrák, priebežný),
- otvor H - otvory v najnižšej časti strechy veľkých rozmerov – otvorená časť pri pomúrnicu.

Projekt „Rozvoj príhraniční spolupráce vysokých škôl v oblasti historickej architektúry“

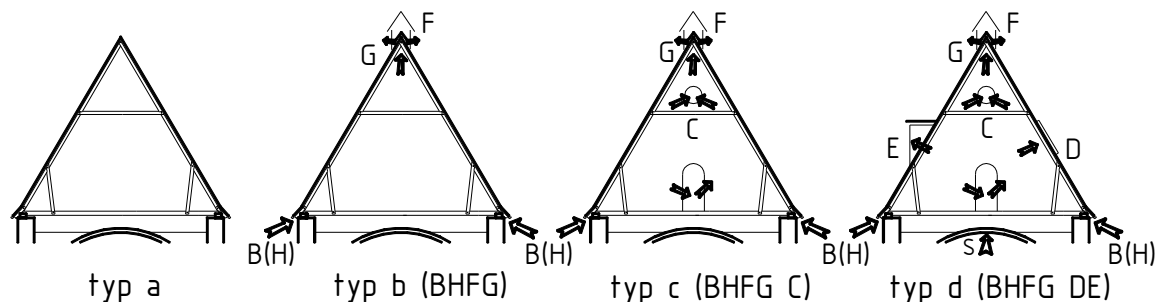
ITMS 22410320032

Na základe rozdelenia a kombinácií jednotlivých otvorov môžeme charakterizovať základné typy prevetrávacích schém podstrešných priestorov historických krovov [5]. Tieto priestory môžeme rozdeliť na rôzne typy podľa druhu existujúcich otvorov (podľa obr. 1):

- typ a - bez otvorov pre prívod resp. odvádzanie vzduchu
- typ b - kombinácie otvorov v najnižšej a najvyššej časti krovu – strechy (BHFG)
- typ c - kombinácie typu b a otvorov v štítových stenách (BHFG C)
- typ d - kombinácie typu b a otvorov v strešnej rovine (BHFG DE)
- typ e - kombinácie všetkých otvorov (BCDEFGH)

V jednotlivých krovoch sledovaných v rámci spomínaného výskumu boli robené krátkodobé merania charakteristík vnútorného (podstrešného) a vonkajšieho prostredia, taktiež boli realizované merania charakteristík prostredia pod stropom (najčastejšie pod ťažkou klenbou).

V príspevku sú uvedené výsledky dlhodobého merania realizovaného na dvoch budovách kostolov. Zisťovaná bola vlhkosť drevených prvkov a vlhkosť a teplota prostredia. Na základe známych závislostí relatívnej vlhkosti vzduchu a rovnovážnej vlhkosti drevených prvkov sme analyzovali stav vlhkosti drevenej konštrukcie.



Obr. 1 Základné typy prevetrávacích schém podstrešných priestorov

2.2 Funkcia vzduchovej medzery v dvojplášťovej streche

Pohyb vzduchu vo vzduchovej vrstve, ktorý podmieňuje správnu funkciu vetranej strechy je daný:

- Tlakom vetra na náveternej strane strechy a saním vetra na záveternej strane strechy.
- Rozdielom teplôt vzduchu vo vzduchovej vrstve medzi privádzacími a odvádzacími vetracími otvormi, a teda rozdielom medzi hustotou postupne sa ohrievajúceho vzduchu vo vzduchovej vrstve a hustotou chladného vonkajšieho vzduchu.

Charakteristiky vzduchu v mieste privádzacích otvorov v podstrešnom priestore sú v zimnom období takmer zhodné s charakteristikami vonkajšieho vzduchu. Vzduch v podstrešnom priestore obsahuje vodnú paru difundujúcu z interiéru, z exteriéru cez privádzacie otvory, tiež technologickú vlhkosť alebo zatečenú vodu zo strešného plášťa. Vzduch je ohrievaný aj prechodom tepla z priestoru pod posledným stropom. Funkčným vetracím systémom je

Projekt „Rozvoj příhraniční spolupráce vysokých škol v oblasti historické architektury“

ITMS 22410320032

vodná para obsiahnutá vo vzduchu odvádzaná do exteriéru. Prúdenie vzduchu je tým väčšie čím je väčší výškový rozdiel medzi privádzacími a odvádzacími otvormi (komínový efekt).

V prípade nedostatočného riadneho priečného prevetrávania vzduchovej vrstvy, nesprávneho nadimenzovania, umiestnenia či realizovania vetracích otvorov dochádza v zime k výraznému zvyšovaniu vlhkosti a k postupnému ohrievaniu vzduchu vo vzduchovej vrstve. Na spodnej strane horného plášťa dochádza ku kondenzácii vodných pár. Ku kondenzácii dochádza tiež vplyvom náhleho poklesu teploty v letnom období a v prechodných obdobiach [4]. Nočné podchladzovanie horného plášťa najviac postihuje plechové krytiny. Preto je vhodné plné drevené debnenie pod plechovú krytinu, čím sa zvýši tepelný odpor horného plášťa.

Strechy historických budov sú často obnovované. Dochádza tým koprave rôznych nedostatkov a eliminovaniu zatekania (nedostatkom je veľakrát nedôsledný návrh výmeny bez projektovej dokumentácie), ale tiež v závislosti od zmeny druhu krytiny aj k ovplyvneniu systému prevetrávania podstrešného priestoru. Často je používaná poistná hydroizolácia, ktorá však pri nesprávnej aplikácii vytvára vhodné podmienky pre zvyšovanie vlhkosti pomocnej konštrukcie krytiny (bez použitia pod kontralaty, príp. nevhodné napájania...). Zateplovanie stropov z hornej časti v podkrovnom priestore ovplyvňuje rozloženie teplôt aj vlhkosť režim podstrešného priestoru.

V rámci experimentálnych meraní na hodnotených budovách sme merali nasledovné charakteristiky podstrešného priestoru:

- Teplotu a relatívnu vlhkosť vzduchu vonkajšieho a vnútorného – prístrojom Testo s jednofunkčným odporovým snímačom.
- Rýchlosť prúdenia vzduchu – rovnakým prístrojom so žiarovým anemometrom.

2.3. Vlastnosti dreva

Prirodzená trvanlivosť dreva sa v praxi nedá presne definovať. Ovplyvnená je množstvom rôznych faktorov. Najvýznamnejšie sú štruktúra dreva a expozičné zaťaženie dreva. Prevádzková vlhkosť dreva umiestneného v podstrešnom priestore ako nosnej konštrukcie krovu sa pohybuje v rozmedzí 10 – 16%. Jej hodnota závisí od relatívnej vlhkosti vzduchu v priestore. Drevo je hygroskopický materiál, ktorý má schopnosť meniť vlhkosť podľa vlhkosti okolitého vzduchu – rovnovážna vlhkosť (sorpcia, desorpcia). Závislosť rovnovážnej vlhkosti dreva od relatívnej vlhkosti vzduchu pri konštantnej teplote nazývame sorpčnou izotermou. Podľa DEBOER a ZWICKER [1] môže mať sorpčná izoterma tvar:

$$\ln \frac{1}{\varphi} = A \cdot \exp(-B \cdot w) \quad (1)$$

kde: φ – relatívna vlhkosť vzduchu (%), w – absolútna vlhkosť dreva (%), koeficienty A a B majú lineárny tvar, T – teplota (K).

$$A(T) = 7,7317 - 0,014348 \cdot T$$

$$B(T) = 0,0087 + 0,000567 \cdot T$$

Projekt „Rozvoj príhraničnej spolupráce vysokých škôl v oblasti historickej architektúry“

ITMS 22410320032

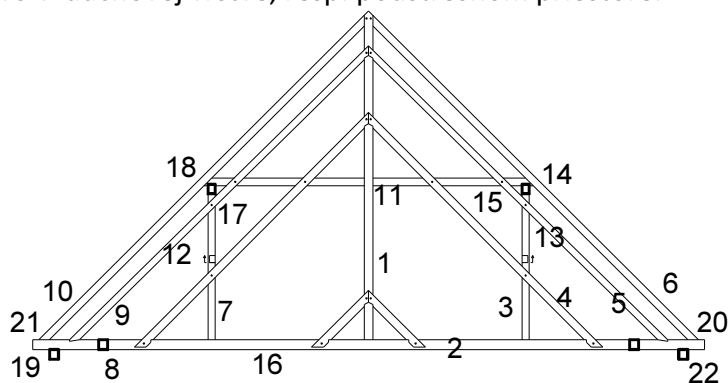
Hmotnostnú vlhkosť drevených prvkov sme v rámci experimentálnych meraní merali pomocou odporového vlhkomeru Greisinger.

3. Prípadové štúdie

3.1. Vyšná Boca – krov nad evanjelickým kostolom

Prvým príkladom krovu s dlhodobým meraním vlhkosti drevených prvkov je klasicistický krov z roku 1785 vo Vyšnej Boci [7]. Podstrešný priestor je *typu a*, bez navrhovaných vetracích otvorov. Konštrukcia stropu je ľahká - drevený trámový strop s podbitím a záklopom. Krytina je celistvá – neprievzdušná, z valcovaného pozinkovaného plechu ukladanej na drevené laty. Stavebno-technický stav drevenej konštrukcie krovu je nevyhovujúci. Vyznačuje sa rozsiahlym biotickým poškodením drevokazným hmyzom (*Callidium violaceum*, *Anobium*, *Hylotrupes bajulus*) a drevokaznými hubami (*Antrodia vailantii*). Krytina je na viacerých miestach poškodená, zateká [6].

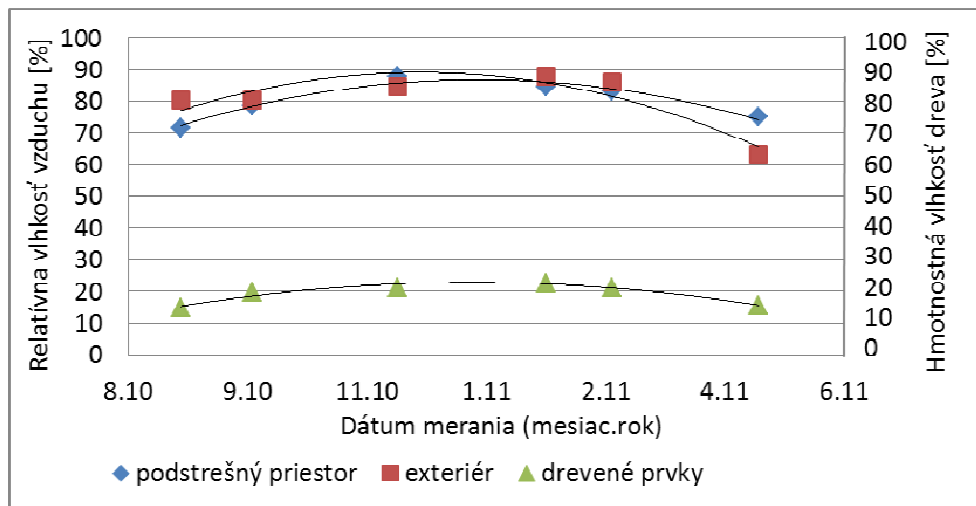
Merané rýchlosti prúdenia vzduchu v podstrešnom priestore dosahovali nulové hodnoty. V priebehu polročného merania bolo zistené, že relatívna vlhkosť vzduchu je zvýšená, priemerná vlhkosť drevených prvkov počas štyroch mesiacov po sebe presahovala 20 %. Tým sú vytvorené vhodné podmienky pre pôsobenie biotických škodcov. Spodný plášť tvorený dreveným stropom nie je vzduchotesný, čo predstavuje problém z hľadiska režimu vlhkosti vo vzduchovej vrstve, resp. podstrešnom priestore.



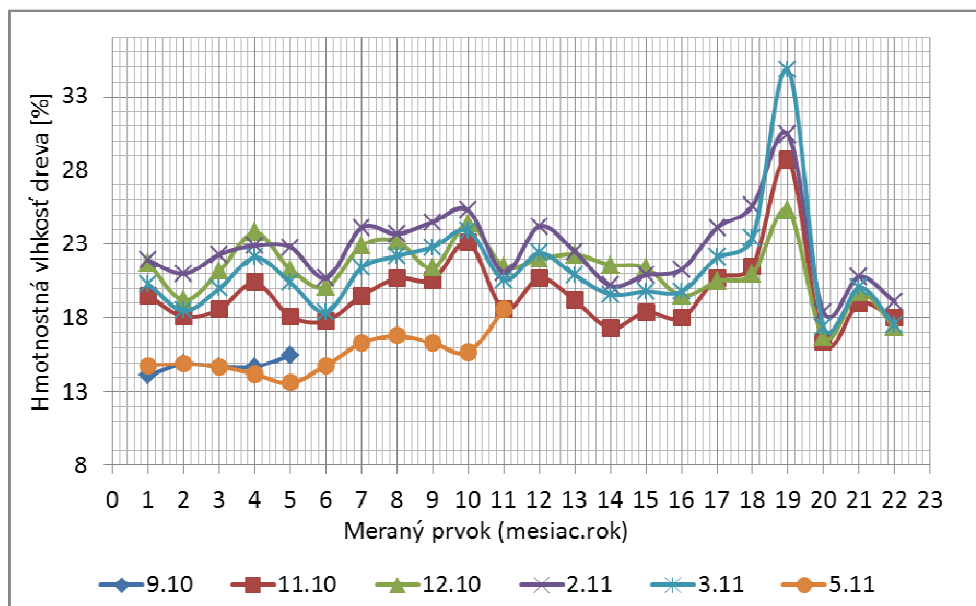
Obr. 2 Schéma plnej priečnej väzby č. XI krovu vo Vyšnej Boci s vyznačenými meracími bodmi.

Projekt „Rozvoj príhraničnej spolupráce vysokých škôl v oblasti historickej architektúry“

ITMS 22410320032



Graf. 1 Priebeh relatívnej vlhkosti vzduchu v podstrešnom priestore, v exteriéri a absolútne vlhkosti drevených prvkov – Vyšná Boca.



Graf. 2 Priebeh absolútnych vlhkostí vytipovaných drevených prvkov – Vyšná Boca.

Na grafe 1 sú znázornené výsledky meraní relatívnej vlhkosti vzduchu v podstrešnom priestore a v exteriéri. Krivky majú rovnakú tendenciu s menším posunom. Krivka priemerných hmotnostných vlhkostí drevených prvkov má rovnakú tendenciu ako relatívne vlhkosti vzduchu. Z grafu vyplýva, že drevo priamo reaguje na zmeny obsahu vlhkosti vo vzduchu. Pri zvyšujúcej sa vlhkosti vzduchu dochádza k zvyšovaniu obsahu vlhkosti v povrchovej vrstve dreva a tým k vytváraniu vhodných podmienok pre pôsobenie biotických škodcov.

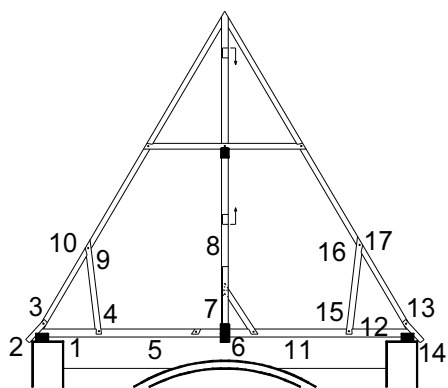
Projekt „Rozvoj príhraničnej spolupráce vysokých škôl v oblasti historickej architektúry“

ITMS 22410320032

Na grafe 2 sú znázornené výsledky meraní hmotnostnej vlhkosti v plnej väzbe konštrukcie krovu. Rozloženie meracích bodov v grafe nereprezentuje rozloženie vlhkosti v ploche plnej väzby. Na grafe možno sledovať zmeny vlhkostí v jednotlivých bodoch vzhľadom na časové obdobie. Merací bod č. 19 na pomúrnicí vykazuje zvýšenú vlhkosť, drevený prvok bol dlhšiu dobu atakovaný zatekajúcou vodou netesnosťou krytiny. U väčšiny bodov sú dosiahnuté najvyššie vlhkosti v zimných mesiacoch, potom v jarných dochádza k ubúdaniu vlhkosti.

3.2. Belá Dulice – krov nad rímskokatolíckym kostolom Najsvätejšieho tela Kristovho

Druhým príkladom je gotický krov z roku 1409 v obci Belá Dulice [2]. Podstrešný priestor je typu c. Drevená konštrukcia krovu je vo vyhovujúcom stavebno-technickom stave. Biotické poškodenie je minimálne (vzhľadom na vek krovu). Konštrukcia stropu je ťažká – kamenná klenba, na ktorej sú položené pásy minerálnej vlny s viditeľnou degradáciou povrchovej vrstvy. Krytina je celistvá z medeného plechu na riedke latovanie. Merané rýchlosti prúdenia vzduchu v podstrešnom priestore dosahovali hodnoty do 2 m/s. V mieste otvoru v štítovej stene pod hrebeňom dosahovali priemerne 0,7 m/s. Ostatné merané rýchlosti prúdenia vzduchu sú uvedené v tab. 1. Priečne prevetrávanie je len minimálne obmedzené.



Obr. 3 Schéma plnej väzby č. IV krovu v Belá Duliciach s vyznačením meracích bodov.

Merané relatívne vlhkosti vzduchu v podstrešnom priestore dosahovali hodnoty charakteristík vonkajšieho vzduchu. V priebehu ročných meraní vlhkostí drevených prvkov vo väzbe číslo IV bolo zistené, že priemerné hodnoty absolútnej vlhkosti dreva presahujú 20 % len v jednom prípade, v mesiaci január. Nasledujúci mesiac je priemerná vlhkosť 17% a potom už vlhkosti nepresahujú 13%, až znova v zimnom období presiahli 16% - vid' graf. č.3.

Na grafe 4 sú znázornené výsledky meraní hmotnostnej vlhkosti v plnej väzbe konštrukcie krovu. Rozloženie meracích bodov v grafe nereprezentuje rozloženie vlhkosti v ploche plnej väzby. Na grafe možno sledovať zmeny vlhkostí v jednotlivých bodoch vzhľadom na časové obdobie. Krivky sú nezosúladené, čo môžeme pripísať kombinácii lokálneho zatekania zrážok

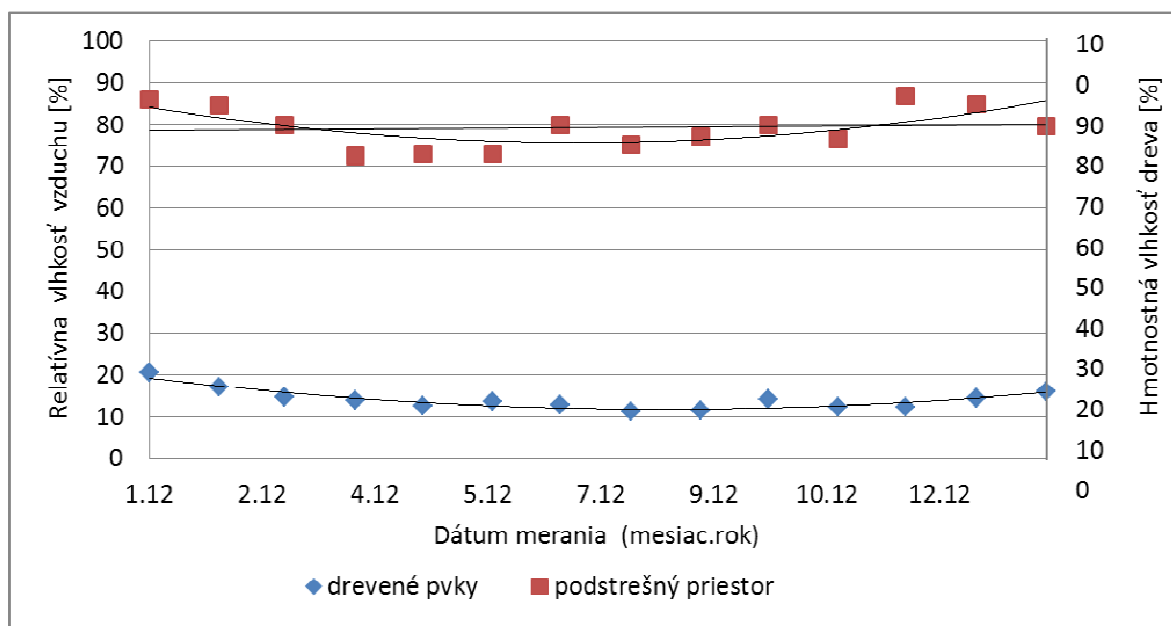
Projekt „Rozvoj příhraniční spolupráce vysokých škol v oblasti historické architektury“

ITMS 22410320032

netesnosťami krytiny a tiež javu v súvislosti s prúdením vzduchu okolo jednotlivých drevených prvkov.

Tab.1. Krátkodobé merania rýchlostí prúdenia vzduchu – priemerné hodnoty.

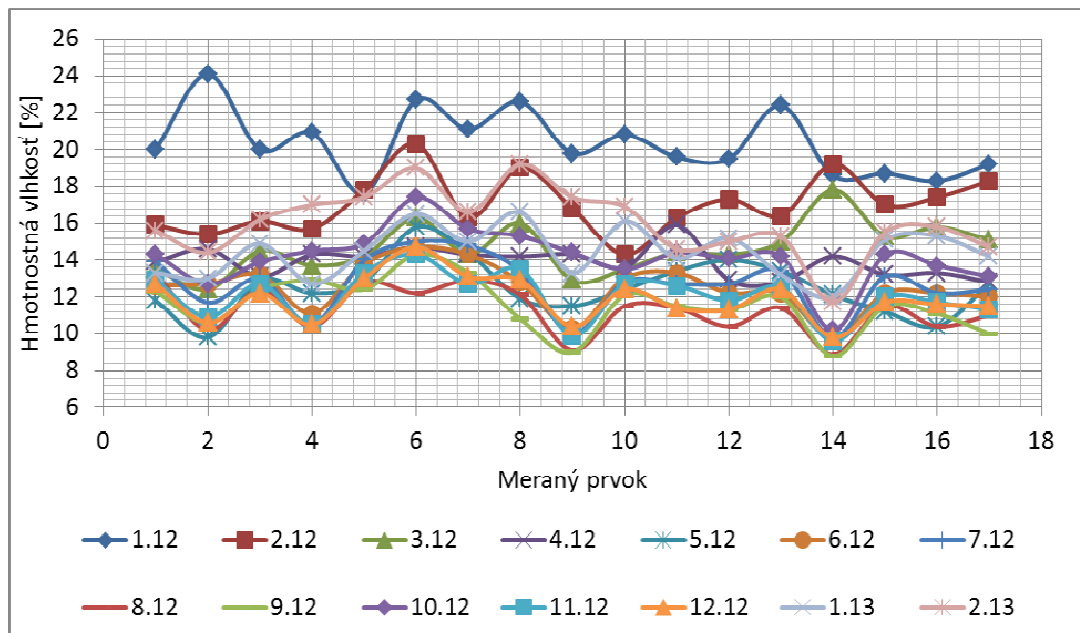
priemerné rýchlosti [m/s]	IV.12	V.12
štítové okno		0,7
otvor do veže	1,15	0,29
otvor do svätyne	0,69	0,42
štrbina pri odkvape	juh	0,19
	sever	1,05
pod krytinou	juh	0,25
	sever	0,16
exteriér	3,1	0,6



Graf. 3 Priebeh relatívnej vlhkosti vzduchu v podstrešnom priestore a absolútne vlhkosti meraných drevených prvkov vo väzbe číslo IV – Belá Dulice.

Projekt „Rozvoj príhraniční spolupráce vysokých škôl v oblasti historickej architektúry“

ITMS 22410320032



Graf. 4 Priebeh absolútnych vlhkostí meraných drevených prvkov vo väzbe číslo IV– Belá Dulice.

4. Závěry

Porovnanie dvoch uvedených príkladov ukazuje zvýšenú vlhkosť podstrešného priestoru a tiež drevených prvkov v prípade nevetraného priestoru *typu a*, navyše s ľahkým dreveným stropom predeľujúcim podstrešný priestor. Zvýšená vlhkosť vzduchu v podstrešnom priestore má vplyv na znižovanie životnosti drevenej konštrukcie. Zvýšená vlhkosť drevených prvkov a kombinácia zvýšenej teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu v podstrešnom priestore vytvára vhodné podmienky pre pôsobenie biotických škodcov dreva (drevokazné huby, drevokazný hmyz).

V rámci historickejho výskumu je realizovaný aj predbežný stavebno-technický prieskum, ktorého výsledky potvrdzujú uvedené závery. Väčšina krovov s neprievzdušnou krytinou a bez akýchkoľvek prevetrávacích otvorov vykazuje najväčšie biotické poškodenie (drevokazný hmyz, drevokazné huby), pričom neplatí závislosť, že čím starší krov (gotika) tým väčšie poškodenie. Skúsenosti zo stavebno-technických prieskumov drevených konštrukcií taktiež ukazujú, že biotické poškodenie krovov nad vykurovanými obytnými časťami vidieckych domov býva podstatne intenzívnejšie ako u susedných stodôl s krovmi rovnakého veku, ktoré však v zimnom období premrzajú v celom rozsahu a navyše bývajú spravidla dostatočne prevetrávané alebo dokonca čiastočne otvorené.

Avšak najväčšie problémy konštrukcií striech spôsobuje vlhkosť zatekajúca. K zatekaniu dochádza vplyvom starnutia materiálov krytiny, nevhodne a nesprávne riešených detailov krytiny (prestupy strešnou rovinou, lomy strešných rovín...), nesprávne riešených detailov v strešnom plášti (najmä pri výmene krytiny, príp. sanačných úpravách), atď.

Projekt „Rozvoj příhraniční spolupráce vysokých škol v oblasti historické architektury“

ITMS 22410320032

Literatúra

- [1] Suchý L., Krušínský P., Grúňová Z., Ďurian K., Zacharová D., Korenková R.: *Historické krovky v regiónoch Oravy a Kysúc*. Žilinská univerzita v Žiline - SvF – KPSaU u M. Gibala KNM 2010, ISBN 978-80-970171-1-8
- [2] Suchý L., Krušínský P., Babjaková Z., Ďurian K.: *Historické krovky sakrálnych stavieb Turca*. Žilinská univerzita v Žiline - Stavebná fakulta - Katedra pozemného stavitelstva, 2008, ISBN 978-80-965547-9-7
- [3] Požgaj A., Chovanec D., Kurjatko S., Babiak M.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Príroda a.s. Bratislava, 1997. ISBN 80-07-00960-4
- [4] Hirčko J.: *Konštrukcie šikmých striech*. Eurostav, Bratislava. ISBN 80-968183-7-6 (Ďurica, P. v kap. 3.3)
- [5] Korenková R.: Analýza podstrešných priestorov historických krovov. Zborník z konferencie 36. Mezinárodní vědecká konference kateder a ústavů pozemního stavitelství Brno 2012. VUT Brno, p. 49-52, ISBN 978-80-214-4536-9.
- [6] Korenková, R.: Remediation modification of historic roof trusses in region Liptov. In: Theoretical foundation of civil engineering : XX Polish - Russian - Slovak seminar : Warszawa - Wrocław, 05.09.-10.09.2011: proceedings. - Žilina: University of Žilina, 2011. - ISBN 978-80-970248-6-4. - p. 395-400.
- [7] Krušínský P., Suchý L., Ďurian K., Grúňová Z.: Historical roof construction of churches in the region Liptov, XX Polish - Russian - Slovak seminar "Theoretical foundation of Civil Engineering", Warszawa-Wrocław, 5.-10. 09. 2011, printed ŽU v Žiline, ISBN 809702486-1