

# Tepelně vlhkostní problematika zhlaví dřevěných trámů

Roman Šubrt

VŠTE České Budějovice



## Abstrakt

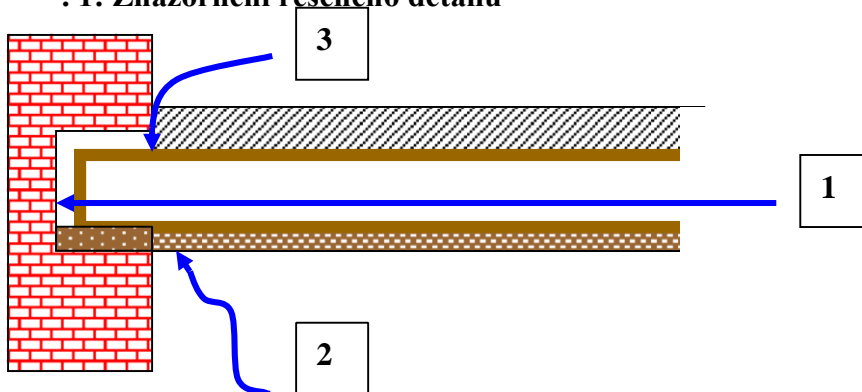
Dřevěné trámové stropy jsou běžnou stavební konstrukcí domů z 18. – 20. století. Změnou užívání staveb, zejména změnou způsobu vytápění dochází i k jinému tepelně vlhkostnímu namáhání zhlaví trámů na vnější obvodové stěně, což může vést k destrukci této konstrukce. Zhoršení situace nastává i při neuváženém použití tepelných izolací z vnitřní strany.

**Klíčová slova:** bodový tepelný most, relativní vlhkost vzduchu, kondenzace vodní páry, dřevěný trámový strop, zhlaví trámu, zateplení

## Úvod

Zhlaví stropních trámů na obvodových zdech je jedním z velmi namáhaných míst stavby. Vedle statického působení smykových sil zde na trám působí tepelně vlhkostní namáhání. V tomto místě je tepelná vazba mezi obvodovou stěnou a stropem. Navíc v místě zhlaví trámu je obvodová zeď zeslabena o kapsu pro uložení trámu, je zde vytvořen bodový tepelný most, i když velmi obtížně identifikovatelný termovizí z exteriéru. Proto je toto místo velmi citlivé na jakékoliv změny tepelné či vlhkostní vodivosti okolních konstrukcí. Zateplení z exteriéru, které by bylo pro tento detail bezproblémové, respektive přínosné, u budov s historicky chráněnou fasádou není možné. Proto jsme se tomuto detailu věnovali s cílem zjistit vliv zateplení z interiéru na tento detail a dopad na vlhkostní režim zhlaví stropních trámů. V prvé řadě bylo nutné modelovat výchozí stav konstrukce.

**Obr. 1: Znázornění řešeného detailu**



Zdroj: Autor

Řešený detail je naznačen na obrázku 1 a šipkou 1 je naznačeno, kudy se ke zhlaví trámů může dostávat vodní pára z mezistropního prostoru. U domů s klasickým stropem je však nutné uvažovat i o možných prasklinách, které umožní vstup vodní páry do konstrukce stropu kdekoliv, i tak jak naznačuje šipka 2 či 3. Klasický příklad těchto míst, kudy se může do prostoru stropu dostávat vzdušná vlhkost je na obrázku 2. Proto při výpočtu není možné uvažovat s uzavřením proti pronikání vodní páry omítkou, konstrukcí stropu či konstrukcí záklopu a podlahy. Do mezistropního prostoru může pronikat vodní pára kdekoliv, tedy např. i v jiném traktu, pokud tento prostor není důsledně parotěsně oddělen. V opačném případě je nutné počítat s difuzním faktorem na úrovni 1, tedy stejný, jako je pro vzduch.

### Obr. 2: Reálné fotografie řešeného detailu



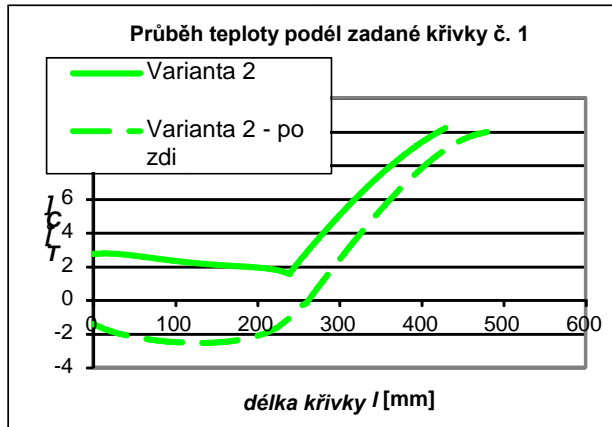
Zdroj: Autor

## Podmínky výpočtu

Při výpočtu teplot a vlhkostí byla rozhodující volba vlastností jednotlivých materiálů i úvaha, jak k pronikání vodní páry do konstrukce dochází. Jak je již naznačeno v obrázku 1, vodní pára může do vzduchové dutiny ve stropu pronikat nejen skrz konstrukci podbití stropu či podlahou a záklopem, ale zejména konstrukčními spárami (například po obvodě podlahy) nebo prasklinami ve stropě a průrazy – viz obr. 2. Proto obvykle nelze jednoznačně definovat difuzní odpor konstrukce oddělující mezistropní prostor od interiéru. Abychom byli na straně bezpečnosti, musíme předpokládat, že právě v místě zhlaví trámu jsou takové podmínky, které umožní vodní páře bezproblémové pronikání z interiéru do mezistropního prostoru bez snížení částečného tlaku vodní páry a následně do kapsy, ve které je trám uložen.

Při výpočtu tepelných polí je dále nutné vzít v úvahu anizotropnost použitého materiálu, tedy rozdílné vlastnosti vedení tepla v různých směrech. Tyto vlastnosti jsou markantní zejména u dřeva, kdy je tepelná vodivost ve směru kolmém na vlákna u měkkého dřeva  $\lambda = 0,18 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  a ve směru rovnoběžném s vlákny  $\lambda = 0,41 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , což je rozdíl cca 130%. Pro vzduch mezi trámy byly uvažovány hodnoty telené vodivosti  $\lambda = 0,36$  a  $1,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , což je rozdíl 370 %.

**Graf 1: průběh teploty v místě trámu a zdiva**

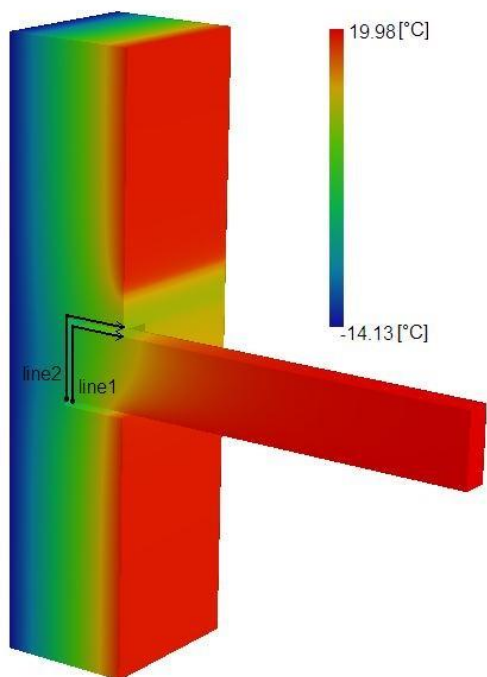


Zdroj: Autor

## Výpočet normálního stavu

Výchozí výpočet byl proveden pro klasickou skladbu podlahy a stropu a uložení trámu ve zdivu z plných cihel tl. 450mm do kapsy, která byla do poloviny zdi. Okolo zhlaví trámu byla vynechána vzduchová dutina dle běžných stavebních zásad panujících v dobách, kdy se dřevěné trámy běžně používaly. Při výpočtu byl uvažován strop bez rákosníků; tedy bez samostatných nosných trámů pro podhled. Rozložení a průběh teplot na trámu a na zdivu v kapse je naznačen na obrázku 3 a grafy teplot pak na grafu 1. V grafech jsou vždy znázorněny teploty na povrchu trámu a na zdivu ve svislé rovině symetrie trámu. Začátek grafu je na spodní hraně zhlaví trámu, dále vede 240 mm svisle nahoru po čele zhlaví trámu a pak vodorovně po horní straně trámu. Graf teploty v kapse vede ve stejném místě, pouze po zdivu.

### Ob. 3 vizualizace rozložení teplot



Zdroj: Autor

Z uvedeného grafu průběhu teplot je patrné, že na trámu je v běžném případě při teplotě exteriéru  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a interiéru  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  povrchová teplota  $+1,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tím je prokázáno, že není splněna podmínka, dle které nesmí být teplota konstrukce taková, aby docházelo ke kondenzaci vodní páry. V tabulce 1 jsou uvedeny relativní vlhkosti vzduchu v závislosti na teplotě rosného bodu při teplotě interiéru  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Toto zjištění je velmi překvapující – znamená to tedy, že by v tomto místě mělo docházet k velké kondenzaci každé zimní období se všemi následnými jevy, zejména s hnilobou zhlaví trámů.

Takto řešený stavební detail je z dnešního pohledu nepřijatelný. Pokud dochází k jakékoliv změně stavby je nutné, aby se projektant s tímto problémem vypořádal, zejména u těch změn, kdy může dojít ke změně mikroklimatu v budově, tedy obvykle při:

- výměně oken
- změně způsobu vytápění (zavedení regulace, změna otopných ploch, změna teplot, na kterou se vytápí...)
- změně užívání místností

Důvodů, proč v tomto detailu nedochází, a zejména dříve nedocházelo ke kondenzaci vodní páry a následnému poškození trámů, je několik:

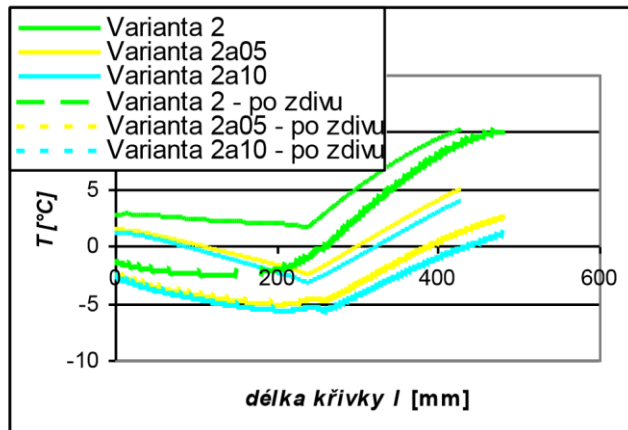
- vlhkost vzduchu, zejména dříve, když se používalo lokální vytápění tuhými palivy, byla výrazně nižší, než jaká je běžná nyní a než se kterou uvažujeme ve výpočtech
- zdivo je chladnější než trám – vlhkost přednostně kondenzuje na zdivu a nikoliv na trámu, takže vzduch v dutině mezi zdivem a trámem je tímto částečně vysušen a je sušší, než vzduch v interiéru
- dřevo je schopné do jisté míry vlhkost pojmout aniž by došlo k rozvoji hniloby, navíc je zřejmě kapilární vzlínavostí část vlhkosti transportována mimo rizikovou oblast.

**Tabulka 1 – relativní vlhkosti vzduchu při +20°C a daném rosném bodu**

rosný bod [°C]	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rel. vlhkost vzd. [%]	24	26	28	30	32	35	37	40	43	46	49	53	56	60

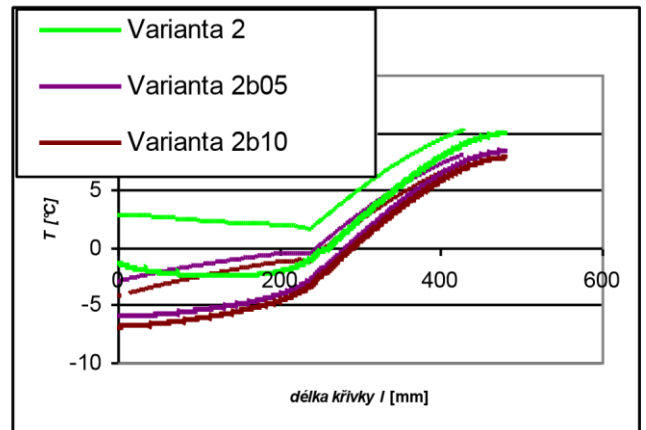
Zdroj: Autor

**Graf 2**



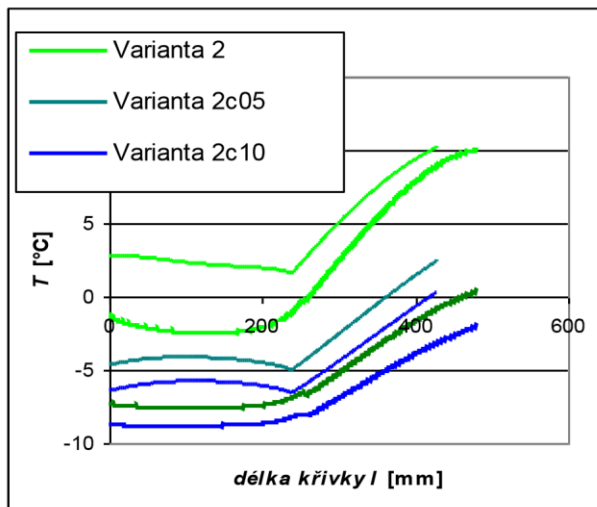
Zdroj: Autor

**Graf 3**



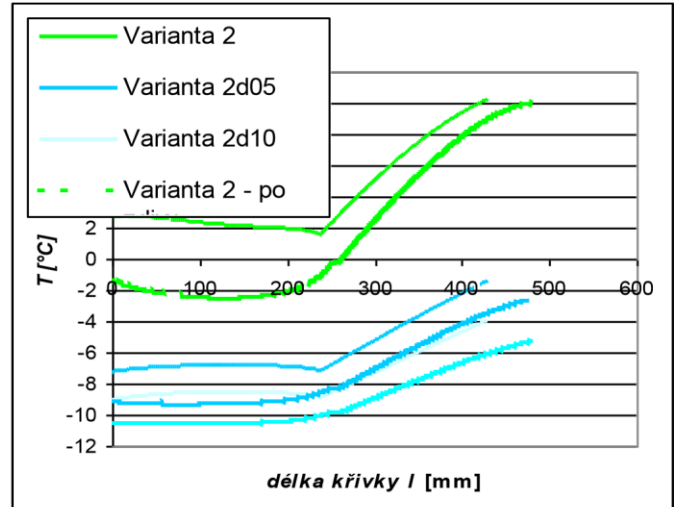
Zdroj: Autor

**Graf 4**



Zdroj: Autor

**Graf 5**



Zdroj: Autor

## Průběhy teplot na trámu při různém zateplení z interiéru

V dalších výpočtech bylo simulováno různé zateplení z interiéru. Varianta a (graf 2) představuje zateplení stěny v horním podlaží, varianta b (graf 3) v dolním, varianta c (graf 4) v horním i dolním a varianta d (graf 5) ještě navíc zateplení stropu. V následujících grafech jsou průběhy teplot na trámu ve stejném místě jako u předchozího grafu, a to bez zateplení,

při zateplení 50 mm minerální vlny, 100 mm minerální vlny a průběh teplot na zdivu v místě průběhu teplot na trámu, opět v uvedených 3 alternativách.

Z grafů 2 až 5 či z tabulky 2 je patrné, že jakékoliv zateplení znamená výrazné snížení povrchových teplot na trámu i na zdivu. Tím se neustále zvyšuje riziko nepřípustné míry kondenzace vodní páry na trámu s následným napadením a destrukcí. Zateplování z interiéru je tudíž možné pouze tehdy, pokud zabezpečíme v místě zhlaví trámu takové podmínky, aby ke kondenzaci vodní páry nemohlo docházet. Teoretických možností je několik. V prvé řadě to je zabránění vnikání vlhkého vzduchu z interiéru do mezistropního prostoru. To by však znamenalo parotěsně uzavřít konstrukci nejen zespoda, ale i seshora a ze všech stran. Je jasné, že toto řešení je v praxi nereálné. Další čistě teoretickou možností je zabezpečit v budově dostatečně suchý vzduch, například vysušováním. Reálným řešením je zhlaví trámů ohřívát natolik, aby zde nemohlo docházet ke kondenzaci vodní páry. To lze realizovat zabudovaným teplovodním či elektrickým zdrojem tepla (trubky UT, topné kabely) nebo vháněním teplého vzduchu do těchto míst. Přitom je však nutné zabezpečit dostatečně suchý vzduch v interiéru.

**tabulka 2 – nejnižší teploty z grafů 1 až 5**

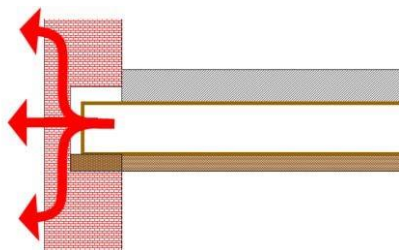
umístění zateplení v interiéru	graf	nejnižší povrchová teplota [°C]	
		na zdivu	na trámu
bez zateplení	1	-2,55	+1,55
zateplení stěny v horním podlaží – tl. 50 mm	2	-5,16	-2,55
zateplení stěny ve spodním podlaží – tl. 50 mm	3	-6,00	-2,99
zateplení celé stěny – tl. 50 mm	4	-7,63	-5,03
zateplení stěny vč. stropu – tl. 50 mm	5	-9,36	-7,25
zateplení stěny v horním podlaží – tl. 100 mm	2	-5,73	-3,28
zateplení stěny ve spodním podlaží – tl. 100 mm	3	-6,95	-4,28
zateplení celé stěny – tl. 100 mm	4	-8,85	-6,59
zateplení stěny vč. stropu – tl. 100 mm	5	-10,65	-9,03

Zdroj: Autor

## Defektoskopie termovizí z exteriéru

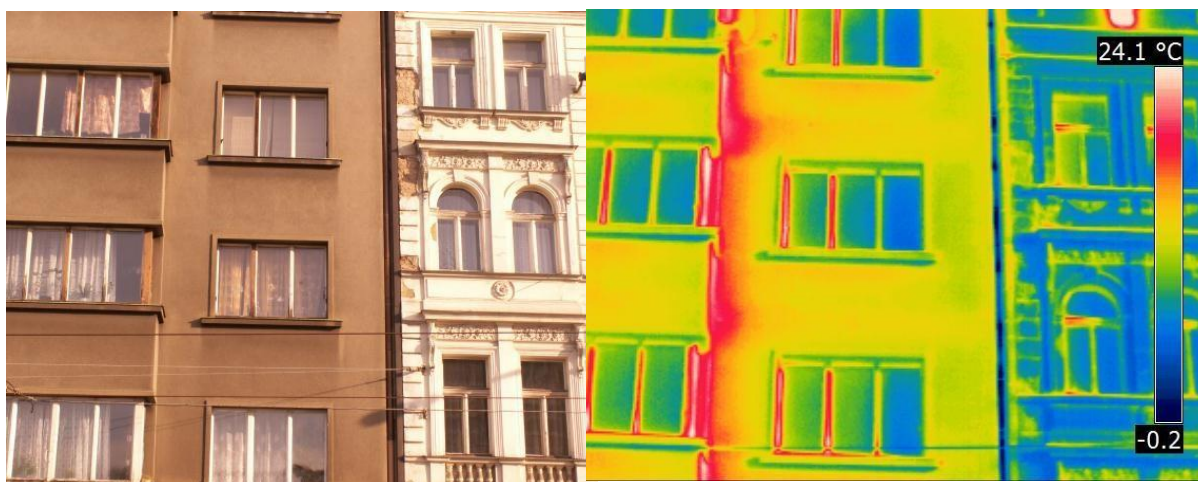
Při pokusu odhalit tyto problémy termovizí z exteriéru obvykle nevedou ke kýženému výsledku, neboť jde o bodový tepelný most, navíc zdivo mezi zhlavím trámu a exteriérovým povrchem je natolik silné a vodivé, že dokáže rozvést teplo do poměrně velké oblasti, takže tento tepelný most není identifikovatelný. Toto je ostatně patrné z obr. 4, kde je reálná fotografie domu a termogram stejného místa. Na obr. 5 pak je znázorněno směr šíření tepla, ze kterého je patrné, že tepelný bodový most dřevěným trámem se projevuje na příliš velké ploše na to, aby byl termokamerou zaznamenanatelný.

### Ob. 5 znázornění směru šíření tepla ve vyšetřovaném detailu



Zdroj: Autor

### Ob. 4.: reálná fotografie domu s dřevěným trémovým stropem a termogram stejného místa



Zdroj: Autor

### Závěry:

- Je třeba důsledně dbát na to, aby mezera mezi trémem a kapsou ve zdivu byla skutečně vzduchovou mezerou, jinak bude v tomto místě docházet ke kondenzaci vodní páry na tréměch.
- Vzduch v místnosti musí být suchý. Jakákoliv změna užívání, zejména utěsnění či výměna oken, změna z lokálního vytápění na tuhá paliva na centrální či elektrické, případně změna provozu v interiéru provázená zvýšením vzdušné vlhkosti (větší množství lidí, předělání na jiný provoz např. kuchyně či toalety, umístění rostlin do interiéru, osazení těsnění do oken apod.) musí být provázena takovými opatřeními, která zvýšenou vzdušnou vlhkost z interiéru odvedou.
- Zvýšená vodivost nosného trému je výhodou.
- Jakékoliv zvýšení tepelné izolace z vnitřní strany má za následek zvýšení míry kondenzace na zdivu v místě kapsy a na stropním trému. Proto jakékoliv zvýšení tepelné izolace z vnitřní strany nutně musí vést ke kondenzaci vodní páry na stavebních prvcích s následnou degradací konstrukce (např. hniloba dřevěných stropních trámů, koroze ocelových stropních trámů, zvýšení vlhkosti zdiva spolu se snížením jeho únosnosti a rizika porušení mrazem apod.)

- Provedením tepelné izolace z vnitřní strany dojde i ke zvětšení dilatačních změn způsobených tepelnou roztažností, neboť v zimním období dojde k většímu poklesu střední teploty zdiva.
- Realizace tepelné izolace z exteriéru zvýší teploty v tomto kritickém detailu, obvykle jej pak není nutné posuzovat.

## **Reference**

ČSN 730540-1. *Tepelná ochrana budov – Část 1 – 4*. Praha: ÚNMZ. Třídící znak 730540.

## **Hydrothermal issue gridiron wooden beams**

Wood-beam ceilings are common building construction of the houses from the 18th – 20 century. Changing the use of building, in particular by changing the type of heating also causes another hydrothermal stress gridiron beams on the outer peripheral wall, which can lead to the destruction of this structure. Worsening situation occurs even when ill-advised use of insulation from the inside.

**Keywords:** thermal bridge point, relative humidity, condensation, wood-beam ceiling, gridiron lumber, insulation

### **Kontaktní adresa:**

Ing. Roman Šubrt, Katedra stavebnictví, Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 10, 370 01 České Budějovice, e-mail: *roman@e-c.cz*