

NOVÉ POZNATKY PRO NAVRHOVÁNÍ DODATEČNÉHO ZATEPLENÍ STARŠÍCH ROUBENÝCH STAVEB ZE DŘEVA

Z. Havířová

Došlo: 20. prosince 2005

Abstract

HAVÍŘOVÁ, Z.: *A new aspects for project of subsequent thermal resistance extension at old-timer timbering constructions of wood.* Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 2, pp. 41–52

To ensure the reliability of subsequent thermal resistance extension at old-timer timbering constructions of wood for the period of their supposed service life a more profound analysis of construction is necessary from the aspect of a global thermal/technical evaluation. Service life of these buildings is dependent on temperature and moisture conditions in layers of the building cladding where the wood framework is built in. Temperature/moisture conditions or the corresponding equilibrium moisture content (EMC) of the construction show considerable effects on the functional reliability of the whole building from the viewpoint of mechanical resistance and stability, energy savings and thermal protection and hygiene, health and environment protection.

heat-technical assessment, wood, construction, moisture, reliability

Česká republika je povinná stejně jako ostatní členské země Evropského společenství zabezpečit implementaci Směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov do svého právního řádu. Směrnice zavádí požadavky pro jednotný rámec metody výpočtu celkové energetické náročnosti budov a to jak pro nově navrhované a realizované budovy, tak pro stávající budovy, které jsou předmětem větší renovace. Celkově se jedná o velmi propracovaný proces, který by měl vést ke zvýšení kvality staveb a jejich technických zařízení za současného snižování požadavků na dodávky energie, k vyšší pohodě vnitřního prostředí budov a v neposlední řadě ke snižování zátěže životního prostředí především emisemi CO₂ jako součásti trvale udržitelného rozvoje společnosti.

Na základě uvedené směrnice se členské státy zavazují přijmout opatření nezbytná ke stanovení minimálních požadavků na energetickou náročnost budov založených na jednotné formě hodnocení, přičemž mohou rozlišovat mezi budovami novými a stáva-

jícími, v úvahu mohou být brány rovněž různé druhy budov, místní podmínky, určené využití budov a jejich stáří. V ČR je tento proces zaveden novelizací ČSN 730540 Tepelná ochrana budov. Tato novelizace souvisejících norem se dotkne všech budov pro bydlení, tedy i těch, u kterých bude prováděna rekonstrukce a modernizace.

MATERIÁL A METODY

V příspěvku se zaměříme na snižování tepelných ztrát u starších roubených staveb ze dřeva snižováním součinitele prostupu tepla jejich obvodovým pláštěm. V běžné projekční praxi se návrhy těchto úprav zaměřují hlavně na dosažení požadovaného součinitele prostupu tepla, viz tabulka III, ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Protože se jedná o stavby ze dřeva, které mají svá specifika, nesmí být při snaze dosáhnout co nejnižších tepelných ztrát snižováním součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí

a snižováním či eliminací jejich průvzdušnosti dotčeny ostatní základní požadavky kladené na tyto konstrukce a stavby (Lokaj, 2003). Především je třeba dbát na to, aby při zvyšování jedné z vlastností vztahujících se k základním požadavkům nedošlo k omezení nebo snížení funkční spolehlivosti stavby z hlediska dalších základních požadavků a aby byla zajištěna její průměrná životnost a trvanlivost (Cai et. al., 2002).

Pro navrhování a provádění spolehlivých stavebních konstrukcí ze dřeva s dostatečnou trvanlivostí je proto třeba především formulovat hlavní zásady konstrukční ochrany dřeva. Ta má v první řadě zajistit takovou vlhkost dřevěných prvků v objektu, při kterých se nemůže projevit aktivita dřeva znehodnocujících hub a dřevokazného hmyzu. Hlavní úlohou konstrukční ochrany zabudovaného dřeva je zabránit pronikání dešťové a spodní vody do objektu, současně však má bránit i tvorbě zkondenzované vody a přestupu kapilární vody z minerálních materiálů do dřeva (Reinprecht, 1999). Z uvedeného plyne, že bez odpovídajícího vyřešení skladby konstrukce z hlediska stavební tepelné techniky a ověření teplotně vlhkostních podmínek uvnitř konstrukce nelze garantovat mechanickou pevnost a stabilitu konstrukcí na bázi dřeva (Taylor, Pope; 1994), ani trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva z hlediska ohrožení biologickými činiteli. Cílem příspěvku je provést rozbor posouzení nově navržené skladby z hlediska stavební tepelné techniky, zejména z hlediska možné difuze a kondenzace vodní páry, respektive teplotně vlhkostních poměrů a odpovídající rovnovážné vlhkosti zabudovaného dřeva.

Stávající výpočtový postup hodnocení celoroční bilance vodní páry v konstrukcích podle ČSN 730540 je dosti odlišný od postupu uvedeného v ČSN EN ISO 13788. Zásadně odlišné jsou v obou metodikách zaváděny okrajové podmínky. Zatímco v metodice ČSN 730540 se hodnocení konstrukce provádí pro postupně se zvyšující vnější teploty počínaje vnější výpočtovou teplotou $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a konče teplotou $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, metodika ČSN EN ISO 13788 předepisuje výpočet po jednotlivých měsících s použitím průměrných měsíčních teplot a vlhkostí vnějšího vzduchu. Metodika ČSN EN ISO 13788 umožňuje také zavést do výpočtu pro každý hodnocený měsíc odlišnou průměrnou teplotu a vlhkost vnitřního vzduchu, což při použití standardního postupu podle ČSN 73 0540 nebylo možné. Pro relativní vlhkost vnitřního vzduchu zavádí ČSN EN ISO 13788 navíc trojí způsob jejího stanovení podle typu hodnoceného prostoru. U běžných místností se provede jejich zařazení do vlhkostních tříd a relativní vlhkost vnitřního vzduchu je stanovena na základě vlhkosti vnějšího vzduchu a přírážky odpovídající příslušné vlhkostní třídě. Nepřijemná je skutečnost, že výpočet podle ČSN EN ISO 13788 zcela opomíjí teploty nižší, než jsou nejnižší průměrné měsíční teploty. Prakticky to znamená, že tento výpočet nezjistí, jak bude vypadat situace v konstrukci

při vnější teplotě nižší než cca $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Značnou výhodou tohoto postupu je možnost vnést do výpočtu počáteční stavební vlhkost, či vlhkost akumulovanou během stávající existence konstrukce.

Podstatný rozdíl v možném zjištění množství vodní páry prostupující konstrukcí plyne ze způsobu posuzování vlastností parotěsnicí vrstvy, tzv. parozábrany. V české odborné literatuře jsou výrobky pro parotěsnicí vrstvu děleny podle jejich hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky s_d (m), která vyjadřuje ekvivalentní tloušťku vzduchové vrstvy se stejným difuzním odporem jako příslušná vrstva stavební konstrukce. Nejvýraznější přírůstek vlhkosti v obvodovém plášti oproti výpočtovému modelu je však zapříčiněn nehomogenitami vlastnostmi materiálů, které způsobují, že v místě porušení materiálů dochází k vícerozměrnému šíření vlhkosti (Svoboda, Králíček; 2000). K nehomogenitě materiálů zabudovaných v souvrství obvodového pláště může dojít technologickou nekázní při výstavbě, nedokonalým spojením jednotlivých materiálů nebo jejich napojením na prostupy a stárnutím spojů. Norma ČSN EN ISO 13788 uvádí, že u takto poškozených materiálů s velkým difuzním odporem může dojít k poklesu ekvivalentní difuzní tloušťky až o několik řádů. Podle některých autorů se doporučuje odborným odhadem snížit podle procenta poškození faktor difuzního odporu až na 10 % jeho původní hodnoty. V jiných odborných publikacích je dokonce uvedeno, že se hodnota ekvivalentní difuzní tloušťky takto poškozených materiálů může snížit až 100krát, tedy na 1 % své původní hodnoty. Množství vlhkosti, která pronikne do souvrství obvodového pláště díky vícerozměrnému šíření vlhkosti, se nedá stanovit analytickým výpočtem, je třeba použít numerických metod nebo laboratorní měření difuze. Dosavadní laboratorní měření prováděná ve VÚPS Zlín a v poslední době i v laboratořích FS ČVUT prokázala výrazné zvýšení hmotnostního toku již při velmi malém porušení vrstev s velkým difuzním odporem. Výsledky měření parozábran provedených v laboratořích FS pomocí metody Wet-Cup, kdy prodávající plocha činila 0,125 % z celkové plochy vzorku, vykazují pokles ekvivalentní difuzní tloušťky s_d na hodnotu 5,3 až 4,7 % hodnoty neporušeného materiálu (Slanina, 2004).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Obvodová stěna 1

Pro posouzení byl použit *návrh projektanta* pro konkrétní stavbu:

- stávající roubená obvodová stěna tl. 200 mm
- z vnitřní strany tepelná izolace z minerálních vláken **ORSIL NF tl. 100 mm**
- parozábrana (bez bližší specifikace)
- palubky tl. 12 mm nebo sádkokarton tl. 12,5 mm

1. Základní komplexní tepelně technické posouzení stavební konstrukce

Obvodová stěna 1
podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Název úlohy: Obvodová stěna 1 (Skladba konstrukce odpovídá původnímu tepelně technickému posou-

zení dle ČSN 730540/2002 ze dne 9. 2. 2005, viz projekt ARCH. DESIGN, s.r.o. Brno.)

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Korekce součinitele prostupu dU: **0.000 W/m²K**

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m³]	Mi[-]	Ma[kg/m²]
1	Dřevo měkké	0,0120	0,1800	2510,0	400,0	157,0	0,0000
2	Parozábrana	0,0002	0,0350	1470,0	900,0	2100000,0	0,0000
3	ORSIL NF	0,1000	0,0420	840,0	100,0	1,6	0,0000
4	Dřevo měkké	0,2000	0,1800	510,0	400,0	157,0	0,0000

Okrajové podmínky výpočtu:

Návrhová venkovní teplota T_e : -15 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ap} : 21 °C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RH_e : 84,0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : **50,0 %**

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:**Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R: 3,564 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U: **0,268 W/m²K**

**Teplota vnitřního povrchu dle ČSN 730540 a teplo-
lotní faktor dle ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách $T_{si,p}$: **18,67 °C**

**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a
bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)
Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1–2	2–3	3–4	e
tepl.[°C]:	18,7	18,0	18,0	-4,2	-14,6
pd [Pa]:	1243	1238	215	215	138
pd'' [Pa]:	2151	2068	2061	428	171

Při venkovní návrhové teplotě **nedochází** v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

V konstrukci **nedochází** během modelového roku ke kondenzaci.

2. Vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2

Název konstrukce: Obvodová stěna 1

I. Požadavek na vnitřní povrchovou teplotu (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $T_{si,N} = T_{si,cr} + \Delta T_{si} = 13,57 + 0,50 =$
14,07 °C
Vypočtená hodnota: $T_{si} =$ **18,67 °C**

Kritická teplota $T_{si,cr}$ byla stanovena pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80 % (kritérium vyloučení vzniku plísní).

$T_{si} > T_{si,N}$... **POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Pozn.: Povrchové teploty v místě tepelných mostů ve skladbě je nutné stanovit řešením teplotního pole.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U_N =$ **0,30 W/m²K**
Vypočtená hodnota: $U =$ **0,27 W/m²K**

$U < U_N$... **POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Poznámka: Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů.

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.

3. Roční množství kondenzátu $M_{a,max}(G_k)$ musí být nižší než $0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo $0,5 \%$ plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V konstrukci **nedochází** při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

3. Rozbor posouzení konstrukce Obvodová stěna 1

V posouzení tepelně technických vlastností konstrukce je místo návrhové hodnoty dosazena charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti tepelně izolačního materiálu = **$0,042 \text{ W/m.K}$** . Tuto hodnotu lze pro výpočet použít podle ČSN 730540-3 pouze pro vnitřní konstrukce, ve kterých nedochází ke kondenzaci vodní páry, a pokud není tlak vodní páry v interiéru vyšší než **1539 Pa** . Pro navrženou nedefinovanou parozábranu je v tepelně technickém posouzení uvažována velmi vysoká hodnota faktoru difuzního odporu $\mu = 2.100.000 (-)$. To by odpovídalo při uvedené tloušťce parozábrany $d = 0,2 \text{ mm}$ ekvivalentní difuzní tloušťce $s_d = 420 \text{ m}$, tedy difuznímu odporu vzduchové vrstvy o tloušťce 420 m . Deklarované hodnoty faktorů difuzního odporu vysoce kvalitních parozábran renomovaných výrobců se pohybují v hodnotách $\mu < 1.000.000 (-)$.

Z rozložení tlaků vodní páry v konstrukci lze usuzovat, že nedochází při takto účinné parozábraně k významnému navlhání dřeva v konstrukci. Z průběhu teplot v exteriéru pro výpočet podle ČSN EN ISO 13788 je však nutno si uvědomit, že toto tepelně technické posouzení nezahrnuje teplotně vlhkost-

ní stavy v konstrukci při teplotách vnějšího vzduchu $\Theta_e < -2,5 \text{ °C}$.

Obvodová stěna 2

Na základě předcházejícího rozboru byla pro posouzení použita původní skladba Obvodová stěna 1, ale se započtením:

- **návrhové hodnoty** součinitele tepelné vodivosti izolačního materiálu
- **degradace** tepelně izolační vrstvy kotvami.

Jedná se o shodnou konstrukci pouze s tím rozdílem, že ve výpočtu součinitele prostupu tepla je započtena **korekce tohoto součinitele vlivem kotev** prostupujících tepelně izolační vrstvou. Současně je v tepelně technickém posouzení konstrukce dosazena **návrhová hodnota** součinitele prostupu tepla navržené tepelné izolace s kolmými vlákny **ORSIL NF = $0,045 \text{ W/m.K}$** .

1. Základní komplexní tepelně technické posouzení stavební konstrukce Obvodová stěna 2

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540.

Název úlohy: Obvodová stěna 2 (Původně posuzovaná konstrukce se započítáním korekce součinitele prostupu tepla kotvami do plastových terčů).

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Korekce součinitele prostupu dU: **$0,052 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m ³]	Mi[-]	Ma[kg/m ²]
1	Dřevo měkké	0,0120	0,1800	2510,0	400,0	157,0	0,0000
2	Parozábana	0,0002	0,0350	1470,0	900,0	2100000,0	0,0000
3	ORSIL NF	0,1000	0,0450	1150,0	100,0	1,4	0,0000
4	Dřevo měkké	0,2000	0,1800	2510,0	400,0	157,0	0,0000

Okrajové podmínky výpočtu:

Návrhová venkovní teplota $T_{e,i}$: -15 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ap} : 21 °C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RH_e : $84,0 \%$
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : **$50,0 \%$**

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R: $2,845 \text{ m}^2\text{K/W}$

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: **$0,332 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Teplota vnitřního povrchu dle ČSN 730540 a teplotní faktor dle ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách $T_{si,p}$: **$18,13 \text{ °C}$**

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1–2	2–3	3–4	e
tepl.[°C]:	18,6	17,9	17,9	–3,8	14,6
pd [Pa]:	1243	1238	215	215	138
pd“ [Pa]:	213	2052	2045	445	171

Při venkovní návrhové teplotě **nedochází** v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

V konstrukci **nedochází** během modelového roku ke kondenzaci.

2. Vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2

Název konstrukce: Obvodová stěna 2

I. Požadavek na vnitřní povrchovou teplotu (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $T_{si,N} = T_{si,cr} + \Delta T_{si} = 13,57 + 0,50 = 14,07 \text{ °C}$

Vypočtená hodnota: $T_{si} = 18,13 \text{ °C}$

Kritická teplota $T_{si,cr}$ byla stanovena pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80 % (kritérium vyloučení vzniku plísní).

$T_{si} > T_{si,N}$... **POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Poznámka: Povrchové teploty v místě tepelných mostů ve skladbě je nutné stanovit řešením teplotního pole.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U_N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota: $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U > U_N$... **POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.**

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
3. Roční množství kondenzátu $M_{a,max}$ (G_k) musí být nižší než $0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo $0,5 \%$ plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V konstrukci **nedochází** při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

3. Rozbor posouzení konstrukce Obvodová stěna 2

Konstrukce se započtením degradace tepelného odporu tepelně izolační vrstvy předepsanými kotva-

mi již **nesplňuje** požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla pro lehké konstrukce venkovních stěn s plošnou hmotností do **100 kg/m²**. Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce venkovní stěny pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\Theta_{im} = 20 \text{ °C}$ dle ČSN 730540-2 je $U_N \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kotvením vnitřního obkladu z palubek pomocí vrutů až do roubené konstrukce stávající vnější stěny by se korekce součinitele prostupu tepla této konstrukce vlivem dalších kovových spojovacích prostředků procházejících tepelně izolační vrstvou ještě zvýšila. Zároveň by došlo k již zmíněné významné degradaci difuzního odporu parozábrany vlivem prostupů těchto spojovacích prvků. Připevnění vnitřního obkladu stěn ze sádrokartonových desek je prakticky nereálné.

Obvodová stěna 3

Na základě rozboru stěny 2 byla pro posouzení použita skladba Obvodová stěna 1 se započtením:

- **návrhové hodnoty** součinitele tepelné vodivosti izolačního materiálu
- **degradace** tepelně izolační vrstvy pomocnou dřevěnou konstrukcí.

Další možností realizace zateplení obvodové stěny podle návrhu projektanta je připevnění **pomocné konstrukce z dřevěných sloupků** z vnitřní strany stávající roubené konstrukce pomocí vrutů. Sloupky jsou navrženy profilu 50/100 mm v rozteči podle formátu sádrokartonových desek 625 mm. Mezi sloupky této pomocné konstrukce byla vložena deklarovaná tepelná izolace z vnitřní strany opatřená parozábranou a SKD tl. 12,5 mm. Jedná se prakticky o shodnou konstrukci, ve výpočtu je však použita **návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti** pro navrženou tepelnou izolaci a je započtena degradace, respektive **korekce tohoto součinitele vlivem systematických tepelných mostů** – dřevěných sloupků profilu **50/100 mm** s osovou roztečí 625 mm. Podíl sloupků v tepelně izolační vrstvě tvoří 8 % z objemu této vrstvy, při započtení dalších nutných dřevěných prvků, jako jsou nadokenní a parapetní vlysy, můžeme předpokládat celkový **podíl dřeva** v tepelné izolaci z minerálních vláken cca **9 %**.

1. Základní komplexní tepelně technické posouzení stavební konstrukce Obvodová stěna 3

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540.

Název úlohy: Obvodová stěna 3 (Původně posuzovaná konstrukce se započtením korekce součinitele prostupu tepla tepelně izolační vrstvy systematickými

tepelnými mosty, tvořenými dřevěnou konstrukcí z hranolů, sloupků profilu 50/100 mm osově po 625 mm.)

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Korekce součinitele prostupu dU : **0,032 W/m²K**

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m ³]	Mi[-]	Ma[kg/m ²]
1	Sádrokarton	0,0125	0,2200	1060,0	750,0	9,0	0,0000
2	Parozábrana	0,0002	0,0350	470,0	900,0	2100000,0	0,0000
3	ORSIL NF	0,1000	0,0450	150,0	100,0	1,4	0,0000
4	Dřevo měkké	0,2000	0,1800	510,0	400,0	157,0	0,0000

Okrajové podmínky výpočtu:

Návrhová venkovní teplota T_e : -15 °C

Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ap} : 21 °C

Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RH_e : 84,0 %

Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : 50,0 %

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R: 3,031 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U: **0,312 W/m²K**

Teplota vnitřního povrchu dle ČSN 730540 a teplotní faktor dle ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách $T_{si,p}$: **18,29 °C**

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)
Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1–2	2–3	3–4	e
tepl.[°C]:	18,6	18,0	17,9	-3,8	14,6
pd [Pa]:	1243	1243	216	215	138
pd" [Pa]:	2136	2063	2056	446	171

Při venkovní návrhové teplotě **nedochází** v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

V konstrukci **nedochází** během modelového roku ke kondenzaci.

2. Vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2

Název konstrukce: Obvodová stěna 3

I. Požadavek na vnitřní povrchovou teplotu (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $T_{si,N} = T_{si,cr} + \Delta T_{si} = 13,57 + 0,50 =$
14,07 °C

Vypočtená hodnota: $T_{si} =$ **18,29 °C**

Kritická teplota $T_{si,cr}$ byla stanovena pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80 % (kritérium vyloučení vzniku plísní).

$T_{si} > T_{si,N}$... **POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Poznámka: Povrchové teploty v místě tepelných mostů ve skladbě je nutné stanovit řešením teplotního pole.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U_N =$ **0,30 W/m²K**

Vypočtená hodnota: $U =$ **0,31 W/m²K**

$U > U_N$... **POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.**

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
3. Roční množství kondenzátu $M_{a,max}$ (G_k) musí být nižší než 0,5 kg/m².rok nebo 0,5 % plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V konstrukci **nedochází** při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

3. Rozbor posouzení konstrukce Obvodová stěna 3

Konstrukce se započtením degradace tepelného odporu tepelně izolační vrstvy dřevěnými konstrukčními prvky (systematickými tepelnými mosty) **nesplňuje** požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla pro lehké konstrukce venkovních stěn s plošnou hmotností do **100 kg/m²**. V tepelně technickém posouzení je však nadále uvažována parozábrana s faktorem

difuzního odporu $\mu = 2100000$ (-), to znamená že difuzní odpor takovéto parozábrany je ekvivalentní difuznímu odporu vrstvy vzduchu o tloušťce **420 m**. Takováto hodnota difuzního odporu je nereálná a u běžných typů parozábran nedosažitelná. Vysoká hodnota difuzního odporu parozábrany přitom pozitivně ovlivňuje vypočtené množství difundující vodní páry konstrukcí G_a a v konečném důsledku i výsledné posouzení konstrukce z hlediska difuze vodní páry a bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN 730540 i ČSN EN ISO 13788.

Obvodová stěna 4

Skladba konstrukce je shodná s Obvodovou stěnou 1, do výpočtu je započtena:

- **návrhová hodnota** součinitele tepelné vodivosti izolačního materiálu
- **degradace** tepelně izolační vrstvy pomocnou dřevěnou konstrukcí
- **degradace** faktoru difuzního odporu parozábrany.

V konstrukci je ve výpočtu součinitele prostupu tepla započtena degradace, respektive korekce tohoto součinitele vlivem **systematických tepelných mostů** (viz Obvodová stěna 2). V hodnocení konstrukce z hlediska difuze a bilance vlhkosti je uvažována degradace faktoru **difuzního odporu parozábrany na 10 %** původně deklarované hodnoty.

1. Základní komplexní tepelně technické posouzení stavební konstrukce Obvodová stěna 4

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540.

Název úlohy: Obvodová stěna 4 (Původně posuzovaná konstrukce se započítáním korekce součinitele prostupu tepla tepelně izolační vrstvy systematickými tepelnými mosty při současném uvažování degradace faktoru difuzního odporu parozábrany na 10 %).

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Korekce součinitele prostupu dU : **0,032 W/m²K**

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m ³]	Mi[-]	Ma[kg/m ²]
1	Sádkarton	0,0125	0,2200	1060,0	750,0	9,0	0,0000
2	Parozábrana	0,0002	0,0350	1470,0	900,0	210000,0	0,0000
3	ORSIL NF	0,1000	0,0450	1150,0	100,0	1,4	0,0000
4	Dřevo měkké	0,2000	0,1800	2510,0	400,0	157,0	0,0000

Okrajové podmínky výpočtu:

Návrhová venkovní teplota T_e : -15 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ap} : 21 °C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RH_e : 84,0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : **50,0 %**

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R: 3,031 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U: **0,312 W/m²K**

Teplota vnitřního povrchu dle ČSN 730540 a tepelný faktor dle ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách $T_{si,p}$: **18,29 °C**

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1–2	2–3	3–4	e
tepl.[°C]:	18,6	18,0	17,9	-3,8	14,6
pd [Pa]:	1243	1241	611	609	138
pd'' [Pa]:	2136	2063	2056	446	171

Relativní vlhkost prostředí RH_x (%) **100**

Rovnovážná vlhkost dřeva ω_x (%) **> 28**

Při venkovní návrhové teplotě **dochází** v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond. zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m ² s]
1	0,1127	0,2028	1,987E-0009

Celoroční bilance vlhkosti:Množství zkondenzované vodní páry G_k :

$$0,002 \text{ kg/m}^2\text{rok}$$

Množství vypařené vodní páry (kapacita odparu) G_v :

$$0,146 \text{ kg/m}^2\text{rok}$$

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než $-5,0^\circ\text{C}$. (tj. cca 48,5 dne/rok)Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:V konstrukci **nedochází** během modelového roku ke kondenzaci.**2. Vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2****Název konstrukce: Obvodová stěna 4****I. Požadavek na vnitřní povrchovou teplotu (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**

$$\text{Požadavek: } T_{si,N} = T_{si,cr} + \Delta T_{si} = 13,57 + 0,50 = 14,07^\circ\text{C}$$

$$\text{Vypočtená hodnota: } T_{si} = 18,29^\circ\text{C}$$

Kritická teplota $T_{si,cr}$ byla stanovena pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80 % (kritérium vyloučení vzniku plísní). $T_{si} > T_{si,N} \dots$ **POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Poznámka: Povrchové teploty v místě tepelných mostů ve skladbě je nutné stanovit řešením teplotního pole.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U_N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota: $U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$

 $U > U_N \dots$ **POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.****III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.

2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.

3. Roční množství kondenzátu $M_{a,max}(G_k)$ musí být nižší než $0,5 \text{ kg/m}^2\text{rok}$ nebo $0,5\%$ plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).Vypočtené hodnoty: V konstrukci **dochází** při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry

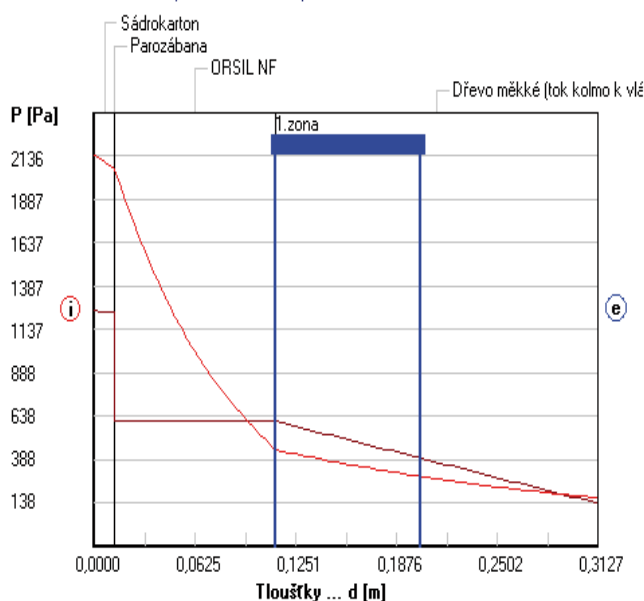
$$G_k = 0,002 \text{ kg/m}^2\text{rok}$$

Roční množství odpařitelné vodní páry

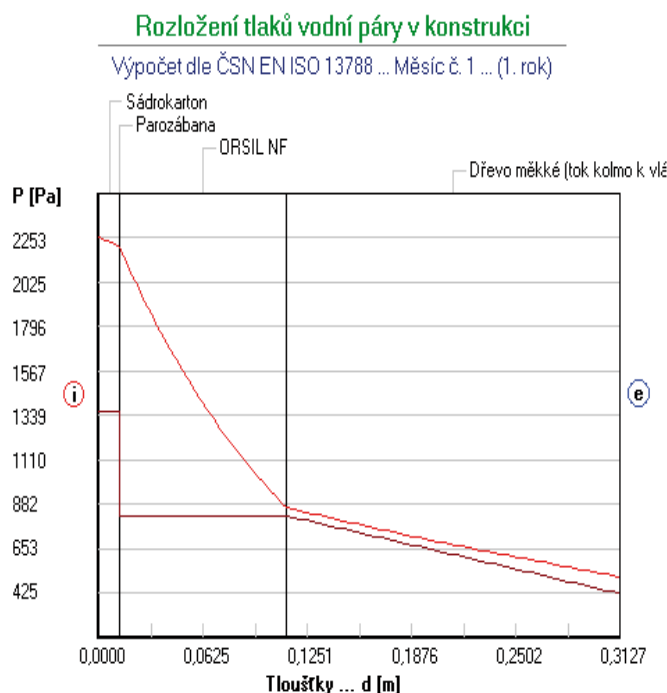
$$G_v = 0,146 \text{ kg/m}^2\text{rok}$$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant. $G_k < G_v \dots$ **2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.** $G_k < 0,5 \text{ kg/m}^2\text{rok} \dots$ **3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.****Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci**

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



1: Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci – Obvodová stěna 4 – dle ČSN 730540



2: Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci – Obvodová stěna 4 – dle ČSN EN ISO 13788

3. Rozbor posouzení konstrukce Obvodová stěna 4

Konstrukce splňuje z hlediska požadavků na šíření vlhkosti podle ČSN 730540-2 požadavek 2. roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu ($G_k < G_v$). Splňuje i požadavek 3. roční množství kondenzátu $M_{a,max}$ ($G_k < 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$). Posouzení splnění požadavku 1. **kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce** však musí provést projektant. Ze základního komplexního tepelně technického posouzení stavební konstrukce (Obvodová stěna 4) podle ČSN 730540-2 je zřejmé, že prakticky v celé vnitřní polovině stávající roubené konstrukce od rozhraní s nově instalovanou tepelnou izolací vzniká za výpočtových podmínek kondenzační zóna (viz obr. 1). Při teplotách vnějšího vzduchu $\Theta_e \leq -5^\circ \text{C}$ bude tato část vystavena prostředí s vysokou relativní vlhkostí ($R_{hx} = 100\%$). V důsledku toho bude za uvedených podmínek docházet ke zvyšování rovnovážné vlhkosti dřeva ve stávající venkovní roubené stěně. Zda a na jak dlouho vzroste **rovnovážná vlhkost dřeva** v uvedené konstrukci nad hodnotu 20 %, nelze ze stávající metodiky výpočtu zjistit. Podle okrajových podmínek pro výpočet bilance vlhkosti podle ČSN 730540-2 se jedná o cca **48,5 dne v roce**. Skutečný počet dní s venkovní teplotou nižší než -5°C v dané lokalitě musí posoudit projektant.

Je pouze na zvážení projektanta, zda bude takovouto konstrukci považovat za vyhovující nebo nevyhovující z hlediska funkční spolehlivosti a životnosti. Vzhledem k současnému stavu legislativy, kdy projektant zhotovuje pouze dokumentaci ke stavebnímu řízení, ve které nemusí uvádět konkrétní navrhované materiály pro zhotovení nebo rekonstrukci stavby, by si pak posouzení, zda konstrukce z dodaných materiálů bude splňovat tento požadavek, měl provést dodavatel stavby.

I když podle hodnocení bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788 v posuzované konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry (viz obr. 2), je možno z rozložení tlaků vodní páry v konstrukci usuzovat, že stávající roubená konstrukce vnějších stěn bude po jejich navrhované rekonstrukci za okrajových podmínek výpočtu vystavena prostředí s vysokou relativní vlhkostí. Odpovídající rovnovážnou vlhkost dřeva nelze použitou výpočtovou metodou stanovit.

U každé navrhované stavební konstrukce ze dřeva nebo při návrhu její úpravy by si měl projektant, respektive dodavatel stavby prověřit i spolehlivost konstrukce v prostorách s vyšší návrhovou hodnotou relativní vlhkosti vnitřního prostředí, jako je např. koupelna. V ČSN 060210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění se pro koupelny v oby-

ných budovách uvádí následující hodnoty vnitřního prostředí.

Výpočtová vnitřní teplota $\Theta_i = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Relativní vlhkost vzduchu $\varphi_{ai} = 90\text{ }\%$

K této vysoké hodnotě relativní vlhkosti vnitřního vzduchu v koupelnách se však vedou v současné době v normalizačních komisích diskuse jako o hodnotě nereálné. Pro ověření vlivu vyšší vlhkosti vnitřního prostředí na spolehlivost a životnost stavebních konstrukcí ze dřeva doporučujeme použít hodnotu relativní vlhkosti vnitřního vzduchu $\varphi_{ai} = 80\text{ }\%$. Tato hodnota odpovídá i zjištěním u velmi těsných budov s těsnými otvorovými výplněmi, u kterých není dostatečně účinně řešena požadovaná výměna vzduchu nuceným větráním, případně větráním s rekupera-

cí – viz stať o syndromu nemoci z budov (Havířová, Kubů, 2005).

ZÁVĚR

Z hodnocení navržené skladby a zavedením teoretických poznatků z nauky o dřevě do tepelně technického posouzení vyplývá, že správné dimenzování návrhu zateplení stávajících roubených staveb má rozhodující vliv na jejich životnost a funkční spolehlivost. Z hodnocení konstrukce je zřejmé, že negativní vliv má zejména nesprávná volba konkrétních materiálů (především parozábrany) a opomenutí uvedených teoretických poznatků, které mohou mít za následek znehodnocení a poškození celé stavby porušením rovnovážné hmotnostní vlhkosti dřeva a její změnou v průběhu užívání stavby.

SOUHRN

Funkční spolehlivost a životnost dřevěných staveb je determinována rovnovážnou hmotnostní vlhkostí dřeva v těchto stavebních sestavách a její přijatelnou změnou v průběhu užívání stavby. Problematika ověření rovnovážné vlhkosti dřeva je však podstatně složitější, než zjištění rovnovážné vlhkosti dřeva pomocí výpočtových metod, sloužících pro ověřování difuze a kondenzace vodní páry v konstrukci. Množství vodní páry proudící konstrukcí v rámci vzduchové propustnosti materiálů může být řádově větší, než množství vodní páry prostupující konstrukcí difuzí, odpovídající rozdílu parciálních tlaků vodní páry působících na konstrukci. Množství vodní páry proudící konstrukcí v rámci toku vlhkého vzduchu je charakterizováno součinitelem vzduchové propustnosti a součinitelem filtrace vodní páry jednotlivých materiálových vrstev konstrukce. Mimo to může celkovou bilanci vlhkosti materiálů zabudovaných v takovéto konstrukci ovlivnit i vzduchová propustnost spár a styků materiálů tvořících jednotlivé konstrukční vrstvy (Řehánek, 2005). Složité výpočtové postupy pro ověření difuze a konvekce vodní páry jsou navíc v běžné projekční praxi těžko použitelné.

Pro základní tepelně technické posouzení byla vybrána skladba zateplení obvodové stěny roubeného domu navržená projektantem pro konkrétní stavbu. Z hlediska tepelně technického posouzení lze zvolenou konstrukci klasifikovat jako konstrukci splňující požadavky příslušných harmonizovaných norem. Pokud však tepelně technické posouzení rozšíříme o poznatky uvedené v předcházejícím textu a zaměříme se na sledování teplotně vlhkovitých podmínek uvnitř konstrukce obvodové stěny, můžeme z analýzy výpočtu provedeného pomocí běžně užívaného software konstatovat, že navržená konstrukce je z hlediska spolehlivosti a trvanlivosti riziková.

tepelně technické posouzení, dřevo, konstrukce, vlhkost, spolehlivost

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 6215648902.

LITERATURA

- CAI, Z., FRIDLEY, K. J., HUNT, M. O., ROSOWSKY, D. V.: Creep and Creep-Recovery Models for Wood under High Stress Levels. *Wood and Fiber Science* 34 (3), 2002: p. 425–433.
- LOKAJ, A.: Ověření funkčnosti komponentů dřevěných konstrukcí. Sborník konference se

- zahraniční účastí „DREVO Surovina 21. storočia v architektúre a stavebníctve“. Smolenice 10.–11. 9. 2003, p. 27–30. ISBN 80-89145-01-9.
- REINPRECHT, L.: Příčiny poškození dřeva. Projekt a stavba 6/1999: p. 45–47.
- ŘEHÁNEK, J.: Vzduchová propustnost konstrukce a její vliv na možnou kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce. Tepelná ochrana budov roč. 8, 1/2005: p. 3–5. ISSN 1213-0907.
- SLANINA, P.: Parotěsná vrstva – terminologie, rozdělení, navrhování. Tepelná ochrana budov roč. 7, 3/2004: p. 13–16. ISSN 1213-0907.
- SVOBODA, Z., KRÁLÍČEK, V.: Výpočet celoroční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry ve stavebních konstrukcích podle prEN ISO 13788. Sborník mezinárodní konference „Tepelná ochrana budov - opravy bytových domů“. Brno 2000, p. 60–63.
- TAYLOR, G. D., POPE, D. I.: Creep Allowances for Glued Laminated Timber used in Structural Frames for Buildings. *Journal of the Institute of Wood Science*, Vol. 13 No. 4 (Issue 76), 1994, p. 461–467.
- HAVÍŘOVÁ, Z., KUBŮ, P.: Reliability and service life of wood structures and buildings. *Acta universitatis agriculturae Mendelinae Brunensis*, 2005, LIII, 5: p. 39–52. ISSN 1211-8516.

Adresa

Dr. Ing. Zdeňka Havířová, Ústav základního zpracování dřeva, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: havirova@mendelu.cz

