

# Výklad ustanovení ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov pro obytné dřevostavby a návrhová doporučení

Ing. Jiří Šála, CSc.

## Obsah

1. Úvod .....	2
1.1. Platné a závazné předpisy .....	2
1.2. Výjimky.....	2
1.3. Připravované předpisy .....	3
2. Normové požadavky .....	4
2.1. Nejnižší vnitřní povrchová teplota .....	4
2.2. Součinitel prostupu tepla.....	7
2.3. Lineární a bodové činitelé prostupu tepla.....	9
2.4. Pokles dotykové teploty podlahy .....	10
2.5. Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce .....	11
2.6. Průvzdušnost spár a netěsností obvodového pláště budovy .....	12
2.7. Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období .....	13
2.8. Tepelná stabilita místnosti v letním období .....	14
2.9. Stavebně energetické vlastnosti budovy .....	15
3. Normová návrhová doporučení .....	16
3.1. Celková koncepce budov .....	16
3.2. Navrhování budov s velmi nízkou energetickou náročností .....	19
Závěr .....	21
Literatura .....	21

## 1. Úvod

### 1.1. Platné a závazné předpisy

Tepelně technické a energetické požadavky jsou závazně zakotveny ve dvou okruzích předpisů:

- a) ve Stavebním zákoně a jeho prováděcí vyhlášce č. 137/1998 Sb., o obecně technických požadavcích na výstavbu (OTP),
- b) v zákoně č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií a jeho prováděcí vyhlášce č. 291/2000 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách.

Konkrétním technickým předpisem v této oblasti je ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov (se sadou navazujících norem), ke které se výše zmíněné předpisy vztahují a činí její požadavky závaznými. Požadavky jsou uvedeny v její části 2 z listopadu 2002, ve znění změny 1 z března 2005. **Požadavky této normy platí a jsou závazné** podle vyhlášky č. 137/1998 Sb. jak pro novostavby, tak pro stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání a jiné změny dokončených budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí. Podle stejné vyhlášky musí být dodrženy požadavky při stavebním řízení vedeném jak formou stavebního povolení, tak na ohlášení (v tomto případě se dodržení požadavků dokladuje obvykle jen na vyžádání stavebního úřadu v případech, kdy si úřad není jist plněním požadavků).

Tepelně technické a energetické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov se přitom stanovují výpočtovými metodami v souladu s částí 4 této normy při použití návrhových hodnot veličin podle části 3 této normy.

Podle zákona č. 406/2000 Sb. musí být pod sankcí až 5 mil. Kč při stavebním řízení dokladovány písemným dokumentem požadované tepelně technické a energetické vlastnosti (podle ČSN 73 0540-2) pro jednotlivé konstrukce a prostory.

### 1.2. Výjimky

Pro závazné tepelně technické a energetické požadavky na stávající dokončené budovy a jejich jednotlivé konstrukce existuje zákonná možnost výjimek. Podle zákona č. 406/2000 Sb. i podle ČSN 73 0540-2 je možné při změnách a opravách dokončených budov prokázat podle zvláštního předpisu o energetických auditech (vyhláška MPO č. 213/2001 Sb. ve znění změn) nebo průkazech energetické náročnosti budov (připravovaná novela vyhlášky MPO č. 291/2001 Sb.), že splnění požadavků je u některé konstrukce a/nebo budovy technicky, environmentálně nebo ekonomicky neproveditelné s ohledem na životnost budovy a její provozní účely. Změkčení požadavku je však přípustné jen do takové úrovně, aby nedocházelo k poruchám a vadám při užívání budovy. Povinností stavebníka je doložit splnění podmínek, které tuto výjimku připouští, např. energetickým auditem.

Norma kromě toho přímo určuje budovy, pro které normové požadavky platí přiměřeně možnostem – opět tak, aby nedocházelo k poruchám a vadám při jejich užívání. Jedná se o:

- a) budovy památkově chráněné nebo stávající budovy uvnitř památkových rezervací (podle zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů),

- b) budovy postižené živelnými katastrofami,
- c) budovy nevytápěné nebo nevytápěné zóny budov (s požadovaným stavem vnitřního prostředí pro skladování, provoz technického zařízení apod.)

S ohledem na vady a poruchy je nutné zejména ověřit kondenzaci vodní páry na povrchu a uvnitř konstrukcí v podmínkách užívání těchto budov, jiné požadavky se obvykle neprosazují. Přitom se umožňuje zohlednění nestandardních okrajových podmínek, jsou-li trvale zajištěny.

Jsou zde tři korektní možnosti, jak oprávněný minimální požadavek v rámci výjimky splnit, které se obvykle kombinují:

- a) vhodně upravit stavební konstrukce (což např. u památek a jejich konstrukcí většinou prakticky není proveditelné s ohledem na památkovou ochranu, nicméně je třeba využít všechny dílčí možnosti),
- b) vhodně přizpůsobit způsob užívání budovy kvalitě konstrukcí (což lze jen v omezené míře, nicméně je to velmi bezpečný přístup),
- c) vhodně řešit vytápění, větrání, popř. jinou úpravu vzduchu tak, aby byly zajištěny okrajové podmínky, při nichž k vadám a poruchám nedojde (tento přístup je jen tak bezpečný, jak je bezpečně zajištěna dodávka energií). To se navrhuje jako doplňkový přístup po vyčerpání předchozích možností.

Jiné než tyto možnosti nejsou pro budovy vhodné. Nerespektování minimálních stavebně technických požadavků, nevhodné užívání či nevhodný provozní režim vytápění a větrání, vedou k poruchám a vadám budov, které chceme chránit.

### 1.3. Přípravované předpisy

Nejpozději do 4. 1. 2006 musí být do našeho právního řádu implementována evropská směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov

Směrnice evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES, o energetické náročnosti budov (EPBD), ještě více zvýraznila požadavek na nízkou energetickou náročnost nových i stávajících budov. Tuto evropskou směrnici zavádí v ČR připravená novela zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, s prováděcími vyhláškami.

V době účinnosti novely zákona musí určené budovy splňovat požadavek na nízkou komplexní energetickou náročnost. Do této energetické náročnosti budov se přitom zahrnuje kromě vytápění, větrání, pasivních solárních zisků a zisků z vnitřních zdrojů nově i chlazení, klimatizace, příprava teplé vody, zabudované umělé osvětlení a reálné ztráty energetických soustav zajišťujících tyto energie.

Povinnost hodnotit energetickou náročnost budov a dokládat ji platným průkazem (certifikátem) energetické náročnosti budov se vztahuje na:

- a) všechny nové budovy,
- b) spotřebu energie ovlivňující větší změny dokončených budov s celkovou podlahovou plochou nad 1000 m<sup>2</sup>,
- c) prodej nebo nájem budov (na vyžádání nového majitele nebo nájemníka).

Průkaz energetické náročnosti budov bude platit 10 let.

Za větší změny se považují změny více než 25 % celkové plochy obvodového pláště budovy nebo změny technických zařízení budovy s energetickými účinky, kde

výchozí součet ovlivněných spotřeb energií je vyšší než 25 % celkové spotřeby energie. Celková podlahová plocha je zastavěná plocha všech podlaží snižená o půdorysnou plochu obvodových stěn.

Důraz je přitom kladen na skutečné zajištění nízké energetické náročnosti budov a jejich změn. Nejde tedy jen o zpracování hodnocení a návrhu úprav, ale o skutečné a průkazné provádění takových budov.

## 2. Normové požadavky

Jednotlivé funkční části obvodových konstrukcí dřevostaveb se obvykle hodnotí samostatně, jen výjimečně jsou konstrukce dřevostaveb certifikovány spolu s výplněmi otvorů jako složené „lehké obvodové pláště“ ve smyslu ČSN EN 13830.

### 2.1. Nejnižší vnitřní povrchová teplota

Nejnižší povrchová teplota  $\theta_{si,min}$  je mezní hodnota zjištěná na vnitřním povrchu v místech tepelných mostů v konstrukcích a v místech tepelných vazeb mezi konstrukcemi. Jejím hodnocením se hlídá hygienický požadavek na vyloučení vzniku plísní na povrchu konstrukcí, popř. na vyloučení kondenzace vodní páry na příliš chladném vnitřním povrchu konstrukcí. Nejchladnější jsou většinou obvodové konstrukce, proto se tento požadavek běžně vztahuje k nim. Jedná se o požadavek, jehož nedodržení může způsobit vady a poruchy konstrukcí, je tedy důležitý i pro hodnocení stávajících budov a budov hodnocených jen přiměřeně (např. památky).

Nejnižší vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si,min}$  se požaduje nejméně na úrovni kritické vnitřní povrchové teploty  $\theta_{si,cr}$  s bezpečnostní teplotní přírůzkou  $\Delta\theta_{si}$

$$\theta_{si,min} \geq \theta_{si,N} = \theta_{si,cr} + \Delta\theta_{si}$$

Kritická vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si,cr}$  odpovídá návrhové teplotě vnitřního vzduchu  $\theta_{ai}$ , návrhové vlhkosti vnitřního vzduchu  $\varphi_i$  a normové kritické vnitřní povrchové vlhkosti  $\varphi_{si,cr}$ . Ta se pro výplně otvorů uvažuje standardně 100 % (tedy kondenzací vzdušné vlhkosti - orosování oken) a pro ostatní konstrukce 80 % (smluvní hodnota, při které začíná růst plíseň na konstrukci – v praxi však byl zjištěn vznik plísně už při povrchové vlhkosti 70 %). Pro vybrané prostory obytných budov jsou kritické teploty uvedeny v tabulce 1, další lze podle potřeby vyhledat v ČSN 73 0540-3.

**Tabulka 1** – Kritická vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si,cr}$  ve °C

Způsob užívání	Teplota / vlhkost vnitřního vzduchu $\theta_{ai} / \varphi_i$	Výplň otvoru $\theta_{si,100}$	Ostatní konstrukce $\theta_{si,80}$
Obytný prostor	21 °C / 50 %	10,19	13,57
Schodiště	11 °C / 50 %	0,99	4,12
Koupelna (průměr)	25 °C / 65 %	17,96	21,56
Bazén (při odvlhčení)	29 °C / 50 %	17,52	21,11
Bazén (noční odpar)	21 °C / 70 %	15,32	18,84

Teploty vnitřního vzduchu  $\theta_{ai}$  jsou uvažovány o 1 °C vyšší než je návrhová vnitřní teplota  $\theta_i$  (výsledná teplota, zahrnující teplotu vnitřního vzduchu a průměrnou vnitřní povrchovou teplotu stěn tvořících místnost, užívaná při hodnocení součinitele prostupu tepla, energetických vlastností budovy a při navrhování topných soustav).

Bezpečnostní teplotní přírážka  $\Delta\theta_{si}$  zohledňuje při hodnocení v ustáleném teplotním stavu vlivy kolísání venkovních teplot, útlum a fázové posunutí při jejich přenosu konstrukcí na vnitřní povrch spolu s vlivem kolísání vnitřních teplot při regulaci vytápění. Normové hodnoty uvádí tabulka 2, pro speciální případy je možno tuto přírážku stanovit přesnějším nestacionárním výpočtem (např. pro velmi hmotné konstrukce památek, u lehkých dřevostaveb normové bezpečnostní přírážky plně vyhovují).

**Tabulka 2** – Bezpečnostní teplotní přírážka  $\Delta\theta_{si}$  ve °C

Konstrukce	Výplň otvoru (okno, světlík, dveře, vrata, střešní poklop) pro topné těleso		Ostatní konstrukce (obvodová stěna, střecha a jejich návaznosti)	
	pod výplní otvoru	mimo nebo nizkoteplotní	těžká	lehká
Nepřerušované	-1,0	0	0	0,5
Tlumené s poklesem výsledné teploty $\theta_v \leq 7$ °C	-0,5	<b>0,5</b>	0,5	<b>1,0</b>
Přerušované s poklesem výsledné teploty $\theta_v > 7$ °C	0	1,0	1,0	1,5

Běžné vytápění obytných budov vystihuje prostřední řádek tabulky, nepřerušované vytápění se obvykle v praxi trvale nedodrží. Pro výplně otvorů je vhodné uvažovat nizkoteplotní vytápění, ke kterému úsporné úpravy v průběhu užívání směřují. Obvodové stěny a střechy dřevostaveb jsou obvykle lehké (viz poslední sloupec). Vhodné bezpečnostní přírážky jsou v tabulce 2 vyznačeny tučně.

Při výpočtu vnitřní povrchové teploty se přitom uvažuje podle ČSN EN ISO 13788 a ČSN 73 0540-4 odpor při přestupu tepla na vnitřní straně  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ , který odpovídá místy pomalejšímu proudění v mezní vrstvě vzduchu v koutě nebo za nábytkem. Pouze u výplní otvorů se shodně s výpočtem součinitele prostupu tepla uvažuje nižší odpor při přestupu tepla na vnitřní straně  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  odpovídající nerušenému proudění podél konstrukce.

Vlastnosti materiálů a výrobků se pro navrhování budov musí uvažovat podle ČSN 73 0540-3 jako návrhové stanované pro jejich reálné vlhkosti po zabudování a při užívání. Deklarované hodnoty udávané výrobcí bývají stanoveny v suchém stavu, užívají se pro dokladování možnosti vstupu výrobku na trh při prohlášení o shodě. Pro navrhování budov je třeba od výrobců požadovat hodnoty charakteristické (při sorpční vlhkosti), nebo použít bezpečné obecné hodnoty z ČSN 73 0540-3, nebo s menší přesností přepočítat suché hodnoty na reálně vlhké hodnoty.

Nejnižší vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si,min}$  se obvykle stanovuje řešením teplotních polí kritických detailů. Přitom je třeba pamatovat na nepříznivé spolupůsobení další navazujících konstrukcí v reálné prostorové kombinaci. Proto je-li vnitřní povrchová

teplota získána dvourozměrným teplotním polem, musí splňovat normový požadavek s dostatečnou rezervou pro zohlednění trojrozměrného spolupůsobení.

Pro často se vyskytující kritické detaily ucelených stavebních systémů mohou (a měli by) jejich výrobci zpracovat katalog nejnižších teplotních faktorů vnitřního povrchu  $f_{Rsi,min}$  (-). Pro jeden každý detail existuje pro normové přestupy tepla jen jedna hodnota  $f_{Rsi,min}$ , pomocí které se pro libovolnou teplotu vnitřního vzduchu  $\theta_{ai}$  a venkovní teplotu  $\theta_e$  stanoví nejnižší vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si,min}$  ze vztahu

$$\theta_{si,min} = \theta_e + f_{Rsi,min} \cdot (\theta_{ai} - \theta_e)$$

Katalogové hodnoty  $f_{Rsi,min}$  umožní projektantovi i bez výpočtu teplotních polí velmi jednoduše ověřovat požadavky kladené na nejnižší vnitřní povrchové teploty v těchto detailech pro konkrétní teplotní a vlhkostní podmínky navrhované budovy.

Pro ilustraci jsou v tabulce 3 uvedeny nejnižší teplotní faktory vnitřního povrchu  $f_{Rsi,min}$ , které pro kritické povrchové teploty  $\theta_{si,cr}$  podle tabulky 1 ještě zaručují splnění požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu  $\theta_{si,min}$  při bezpečnostní teplotní přírážce  $\Delta\theta_{si}$  ve výši 0,5 °C pro výplně otvorů a 1,0 °C pro ostatní konstrukce. Čím vyšší je teplotní faktor vnitřního povrchu, tím kvalitnější je řešení detailu (vyšší vnitřní povrchové teploty  $\theta_{si}$ ).

Z tabulky 3 je zřejmé, že detaily vyřešené v kvalitě pro obytné prostory vyhoví i pro podmínky schodiště a že pro vlhké provozy, jako jsou koupelny a bazénové haly je třeba detaily řešit výrazně kvalitněji, s vyšší vnitřní povrchovou teplotou. Pro řadu projektantů může být překvapivý fakt, že nejpřísnější požadavky vyvolává noční či odstávkový provoz nebo havarijní provoz, kdy se prostor s bazénem často vytápí na běžnou obytnou teplotu a „úsporně“ se vypíná odvlhčování (při větší ploše nezakrytého bazénu a nízkém stropu může být vlhkost v prostoru ještě vyšší a problémy s povrchovou kondenzací výraznější). Dále je vidět, že požadavky na detailní řešení výplní otvorů jsou u vlhkých provozů tak silné, že mohou vyvolat potřebu buď speciálních rámců i zasklení výplní otvorů, nebo připuštění povrchové kondenzace na výplních otvorů a její odvádění či odpařování bez vlivu na přilehlé konstrukce.

**Tabulka 3** – Nejnižší teplotní faktory vnitřního povrchu  $f_{Rsi,min}$  pro  $\theta_e = -15$  °C

Způsob užívání	Teplota / vlhkost vnitřního vzduchu $\theta_{ai} / \varphi_i$	Výplň otvoru $f_{Rsi,min}(-15)$	Ostatní konstrukce $f_{Rsi,min}(-15)$
Obytný prostor	21 °C / 50 %	0,714	0,821
Schodiště	11 °C / 50 %	0,634	0,774
Koupelna (průměr)	25 °C / 65 %	0,837	0,939
Bazén (při odvlhčení)	29 °C / 50 %	0,750	0,843
Bazén (noční odpar)	21 °C / 70 %	0,856	0,968

**Praktický závěr:** Je výhodné již v koncepci řešení maximálně dbát na užívání takových konstrukčních principů, které nevytvoří výrazné tepelné mosty v konstrukcích ani tepelné vazby mezi konstrukcemi, nebo je maximálně omezí. Představa o budoucím dořešení těchto „drobností“ specialistou je nesprávná – dodatečné úpravy nebývají vždy dostatečně účinné a zároveň jsou ekonomicky náročnější než řešení vzniklá při důsledné součinnosti specialisty již ve fázi konstrukční koncepce. Při navrhování konstrukcí pro vlhké provozy je třeba být ještě obezřetnější.

U dřevostaveb není vhodné uplatňovat čl. 5.1.2 a 5.1.3 v ČSN 730540-2, které za určitých podmínek připouští nesplnění výše uvedené vnitřní povrchové teploty, neboť riziko povrchové kondenzace je pro trvanlivost dřevostaveb příliš nebezpečné.

## 2.2. Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla  $U$  je průměrná hodnota platící pro celou konstrukci nebo její funkční část. Zahrnuje v sobě navýšení tepelného toku vlivem tepelných mostů v konstrukci obsažených, neobsahuje vliv tepelných vazeb mezi konstrukcemi. Jejím hodnocením se hlídá vyváženost jednotlivých částí budovy jak s ohledem na tepelné toky (energetické hledisko), tak s ohledem na hygienický požadavek tepelné pohody.

Pro obytné budovy se požadavky na součinitele prostupu tepla stanoví z tabulky 3 v ČSN 73 0540-2, pro vybrané konstrukce uvádí požadavky tabulka 4.

**Tabulka 4** – Normové hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_N$  pro obytné budovy

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U_N$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	
Střecha plochá a šikmá (do 45°) Podlaha vnější (nad venkovním prostorem)	0,24	0,16	
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20	
Stěna vnější	lehká	0,30	0,20
Střecha strmá se sklonem nad 45°	těžká	0,38	0,25
Podlaha a stěna přilehlá k zemině (s výjimkou) Strop a stěna z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	
Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	nová	1,7	1,2
Rámy nových výplň otvorů s $U_f \leq 2,0$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	upravená	2,0	
Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	
Šikmé střešní okno, světlík, apod. do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,5	1,1	
Rámy včetně tepelně izolačního obkladu s $U_f \leq 2,0$ W/(m <sup>2</sup> ·K)			
Šikmé střešní okno, světlík, apod. do 45°, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s průsvitnou výplní otvoru o poměrné ploše $f_w = A_w / A$ , v m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> , kde $A$ je celková plocha LOP; $A_w$ plocha průsvitné výplně otvoru v LOP. Rámy LOP s $U_f \leq 2,0$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$f_w \leq 0,50$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$	0,2 + 1,0 · $f_w$
	$f_w > 0,50$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$	

Doporučené  $U_N$ -hodnoty jsou až na lehké obvodové pláště vždy v úrovni 2/3 požadovaných  $U_N$ -hodnot. Pro nízkoenergetické domy je vhodné navrhovat konstrukce se součiniteli prostupu tepla  $U$  nejvýše polovičními proti požadovaným  $U_N$ -hodnotám.

U skládaných obvodových konstrukcí budov, charakteristických pro dřevostavby, je přitom obzvlášť důležité při stanovení součinitele prostupu tepla  $U$  zahrnout správně vliv tepelných mostů obsažených v konstrukci. Nesprávně stanovené  $U$ -hodnoty jednotlivých konstrukcí vedou k příliš optimistickým představám o nízké spotřebě tepla na vytápění dřevostavby, následně k poddimenzování topné soustavy, nespokojeným uživatelům a nakonec ke špatné pověsti tohoto způsobu výstavby.

Nejzávažnější a stále opakovanou chybou je stanovení  $U$ -hodnoty jen ze skladby v ideálním výseku konstrukce. Této chyby se často z neznalosti dopustí sváteční uživatelé komerčních programů, kteří se programovou nabídkou nechají svést k prostému součtu vlivu jednotlivých materiálových vrstev. Takto způsobenou chybu demonstruje nejjednodušší správný postup (metoda charakteristických tepelných mostů podle ČSN 73 0540-4), ve kterém se tento součinitel prostupu tepla v ideálním výseku  $U_{id}$  používá jako jedna složka výsledku, která charakterizuje vliv skladby vrstev. Vliv tepelných mostů v konstrukci  $\Delta U_{tbk}$  ve  $W/(m^2 \cdot K)$  se přičítá samostatně:

$$U = U_{id} + \Delta U_{tbk}$$

Vliv tepelných mostů obvykle odpovídá jejich zastoupení v konstrukci, orientačně:

- a)  $\Delta U_{tbk} \approx 0,02$  - téměř bez tepelných mostů (úspěšně optimalizované řešení),
- b)  $\Delta U_{tbk} \approx 0,05$  - s mírnými tepelnými mosty (typové či opakované řešení),
- c)  $\Delta U_{tbk} \approx 0,10$  - s běžnými tepelnými mosty (standardní řešení),
- d)  $\Delta U_{tbk} \approx 0,15$  a více - s výraznými tepelnými mosty (zanedbané řešení).

Je vidět, že chyba se při nesprávném hodnocení může u nízkoenergetického domu pohybovat až v násobku nízkých hodnot součinitelů prostupu tepla v ideálním výseku  $U_{id}$ . Jinými slovy – vliv tepelných mostů je u nyní navrhovaných konstrukcí v řádu vlivu skladby a jejich vliv se u nízkoenergetických budov zvýrazňuje. K dosažení potřebných součinitelů prostupu tepla  $U$  již tedy nestačí jen návrh skladeb s vysokými tloušťkami tepelných izolací, je k tomu třeba se stejnou či vyšší vahou optimalizovat tepelné mosty v konstrukci tak, aby se jejich vliv co nejvíce omezil.

Častou chybou je také zanedbání konstrukčně méně významných vodivých prvků ve vrstvě tepelné izolace a neuvažování technologických tolerancí ve skládaných konstrukcích. U nízkoenergetických budov mají tyto vlivy narůstající význam.

Správné způsoby výpočtového stanovení součinitele prostupu tepla  $U$  popisují tradiční postupy v ČSN 73 0540-4:1994 a v posledních deseti letech přejeté evropské (mezinárodní) normové metody (např. ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10211-1, ČSN EN ISO 10211-2, ČSN EN ISO 10077-1 a ČSN EN ISO 10077-2). Uvedené metody se liší mírou přesnosti, všechny však zahrnují vliv tepelných mostů v konstrukci. Výpočtové metody jsou nově shrnuty v revidované ČSN 73 0540-4:2005.

Pro konstrukce se podobným zastoupením tepelných mostů lze zpracovat katalog hodnot  $\Delta U_{tb}$ , který je možné využívat pro jednoduché přibližné výpočty.

**Praktický závěr:** Pro snižování součinitele prostupu tepla  $U$  a následně i potřeby energie na vytápění je nutné kromě návrhu větší tloušťky tepelné izolace maximálně omezit tepelné mosty v konstrukcích, a to již od koncepční fáze návrhu.

### 2.3. Lineární a bodové činitele prostupu tepla

Změna Z1 k ČSN 73 0540-2 přináší novinku v hodnocení jednotlivých tepelných vazeb mezi konstrukcemi prostřednictvím lineárního a bodového činitele prostupu tepla  $\Psi$  a  $\chi$ . Význam tohoto hodnocení narůstá se snižováním prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi – to je i důvod, proč se toto hodnocení ve vyspělejších evropských zemích postupně zavádí. Další důvod je ryze praktický – teprve při hodnocení tohoto vlivu se řada projektantů konečně důkladně zamyslí nad optimalizací detailu vzájemného spojení konstrukcí z hlediska prostupu tepla. Je to krok od navrhování jednotlivých konstrukcí k souběžnému vnímání jejich systémového spolupůsobení v rámci celé budovy.

Požadavky se vztahují na hodnoty  $\Psi$  a  $\chi$  stanovené pro osnovu vnějších rozměrů.

Pro lineární detaily návazností vnějších stěn se vyžaduje  $\Psi$ -hodnota nejvýše 0,60 W/(m·K) s výjimkou návazností na výplně otvorů, kde se požaduje 0,10 W/(m·K). Pro lineární detaily návaznosti střech na výplně otvorů se požaduje  $\Psi$ -hodnota nejvýše 0,30 W/(m·K).

Pro jednotlivé bodové tepelné vazby způsobené průniky tyčových konstrukcí, jako jsou sloupy, nosníky a konzoly, se požaduje  $\chi$ -hodnota nejvýše 0,90 W/K.

Doporučené hodnoty jsou opět 2/3 požadovaných, nízkoenergetické domy by měly mít tepelné vazby tak optimalizované, aby jejich vliv byl nižší než polovina požadavku.

Vliv všech tepelných vazeb na celé vnější obálce budovy, kterou tvoří teplosměnné konstrukce na systémové hranici budovy, lze vyjádřit souhrnně dílčí měrnou ztrátou prostupem tepla  $\Delta H_{tb}$  ve W/K ze vztahu

$$\Delta H_{tb} = \sum \Psi \times l + \sum \chi$$

Některé z dobře vyřešených tepelných vazeb mohou mít záporné hodnoty  $\Psi$  a  $\chi$ . Při optimalizaci tepelných vazeb lze proto docílit nulový souhrnný vliv tepelných vazeb v rámci celé budovy  $\Delta H_{tb} \approx 0$ .

Správné způsoby výpočtového hodnocení popisují metody nově shrnuté v ČSN 73 0540-4:2005, podrobněji rozvedené v ČSN EN ISO 10211, ČSN EN ISO 14683, ČSN EN ISO 13789.

Pro konstrukce se podobným tvarovým a materiálovým řešením tepelných vazeb lze zpracovat katalog hodnot  $\Psi$  a  $\chi$ , který je možné využívat pro jednoduché přibližné výpočty. Orientační obecné hodnoty uvádí ČSN EN ISO 14683, přesnější hodnoty  $\Psi$  a  $\chi$  mohou poskytnout výrobci ucelených stavebních systémů.

Zanedbání nebo nesprávné stanovení lineárních či bodových činitelů prostupu tepla  $\Psi$  a  $\chi$  tepelných vazeb mezi konstrukcemi vede opět k podcenění konstrukční optimalizace detailů, k chybným představám o nízké spotřebě tepla na vytápění dřevostavby a k poddimenzování topné soustavy.

**Praktický závěr:** Pro nízkoenergetické budovy je třeba optimalizovat řešení detailů vzájemného spojení konstrukcí z hlediska prostupu tepla. To se zajistí minimalizací lineárních a bodových činitelů prostupu tepla  $\Psi$  a  $\chi$  těchto detailů.

## 2.4. Pokles dotykové teploty podlahy

Tato vlastnost vyjadřuje tepelnou pohodu při kontaktu standardně obutého uživatele s povrchem podlahy. Pokles dotykové teploty podlahy  $\Delta\theta_{10}$  nesmí klesnout pod normovou hodnotu podle tabulky 5.

**Tabulka 5** – Požadované hodnoty poklesu dotykové teploty podlahy  $\Delta\theta_{10,N}$

Druh budovy a místnosti	Kategorie podlahy	Pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10,N}$ [°C]
Obytná budova: dětský pokoj, ložnice Občanská budova: dětská místnost jeslí, školky, pokoj intenzivní péče, pokoj nemocných dětí	I. Velmi teplé	$\leq 3,8$
Obytná budova: obývací pokoj, pracovna, předstíň sousedící s pokoji, kuchyň Občanská budova: operační sál, předstíň, ordinace, přípravná, vyšetřovna, služební místnost, chodba a předstíň nemocnice, pokoj dospělých nemocných, kancelář, rýsovna, kreslárna, pracovna, tělocvična, učebna, kabinet, laboratoř, restaurační místnost, kino, divadlo, hotelový pokoj Výrobní budova: trvalé pracovní místo při sedavé práci	II. Teplé	$\leq 5,5$
Obytná budova: koupelna, WC, předstíň před bytem Občanská budova: WC, lázeň, převlékárna lázně, chodby, čekárny, schodiště nemocnice, taneční sál, jednací místnost, sklad se stálou obsluhou, prodejna potravin, noclehárna, trvalé pracovní místo ve výstavní síni a muzeu bez podlahy nebo předepsané teplé obuvi Výrobní budova: trvalé pracovní místo bez podlahy nebo předepsané teplé obuvi	III. Méně teplé	$\leq 6,9$
Budovy a místnosti bez požadavků	IV. Studené	$> 6,9$

Požadavek se nemusí ověřovat u podlah s trvalou nášlapnou celoplošnou vrstvou z textilní podlahoviny a u podlah s povrchovou teplotou trvale vyšší než 26 °C.

Pokles dotykové teploty podlahy  $\Delta\theta_{10}$  se stanoví podle ČSN 73 0540-4 z tepelné jímavosti podlahy  $B$  a průměrná vnitřní povrchové teploty podlahy  $\theta_{si}$ . Tepelnou jímavost podlahy  $B$  ovlivňuje nejvíce nášlapná vrstva na povrchu podlahy, vliv dalších vrstev na tuto dílčí vlastnost klesá s jejich vzdáleností od povrchu. Průměrná vnitřní povrchová teplota podlahy  $\theta_{si}$  se zvýší snížením součinitele prostupu tepla  $U$ .

Pro podlahy s podlahovým vytápěním se pokles dotykové teploty podlahy  $\Delta\theta_{10}$  stanovuje a ověřuje pro vnitřní povrchovou teplotu podlahy  $\theta_{si}$  stanovenou bez vlivu podlahového vytápění při návrhové venkovní teplotě  $\theta_e = 13$  °C.

Analogicky lze hodnotit i jiné konstrukce, kterých se dotýkají uživatelé domů obdobně jako podlah, např. vnější stěny tvořící opěrnou plochu u lavic, lůžek apod.

**Praktický závěr:** Velmi teplé a teplé podlahy v obytných budovách se zajistí nejlépe použitím vhodných nášlapných vrstev a jejich podkladu s vysokou tepelnou jímavostí **B**. U podlah nad venkovním prostředím nebo na terénu se spolu s tím požadavku lépe docílí snížením součinitele prostupu tepla **U**.

## 2.5. Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce

Nejlépe navržené dřevostavby vylučují kondenzaci vodní páry v konstrukci jako rizikový faktor, který ohrožují jejich trvanlivost.

Pokud se přece jen uvnitř konstrukce dřevostavby kondenzaci vodní páry připustí, pak je třeba dodržet tato omezení

- V roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry nesmí zbýt žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce. Roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce  $G_K$ , v  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  tedy musí být nižší než roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce  $G_V$ , v  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .
- Pro jednoplášťovou střechu, konstrukce dřevostaveb, konstrukci s vnějším tepelně izolačním systémem, vnějším obkladem, popř. jinou obvodovou konstrukci s difuzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, je nižší z hodnot:

$$G_{K,N} = 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}), \text{ nebo } 0,1 \% \text{ plošné hmotnosti materiálu,}$$

pro ostatní stavební konstrukce je nižší z hodnot:

$$G_{K,N} = 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \text{ nebo } 0,5 \% \text{ plošné hmotnosti materiálu}$$

Kromě těchto přímých normových omezení zkondenzovaného množství vodní páry v ročním průběhu  $G_K$  v  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  nutné při uplatnění dřeva a/nebo materiálů na bázi dřeva kondenzaci vodní páry omezit i kontrolou souběžně platných ustanovení, odkazovaných normou, a to nutnost:

- Splnění podmínek pro uplatnění těchto materiálů ve stavebních konstrukcích podle čl. 5.1 a 5.4 v ČSN 73 2810:1993,
- Dodržení dovolené vlhkosti těchto materiálů podle ČSN 49 1531-1,
- Zabránit ohrožení požadované funkce konstrukce při překročení 18 % rovnovážné hmotnostní vlhkosti těchto materiálů.

Ve skládaných a vrstvených konstrukcích dřevostaveb má klíčový význam parotěsnicí vrstva, která má být při vnitřní straně tepelné izolace. Často se zapomíná, že tato vrstva je tvořena nespojitě z jednotlivých pásů či dílů a že mechanické spojovací prostředky při vytváření stavební konstrukce tuto vrstvu poškozují. Netěsnosti se přitom projeví výrazněji u parotěsnicích vrstev s velmi vysokým faktorem difuzního odporu  $\mu$ . Zároveň zpravidla platí, že čím jsou parotěsnicí vrstvy tenčí, tím je riziko jejich poškození významnější.

V praxi to znamená, že faktor difuzního odporu  $\mu$  parotěsnicí vrstvy může být o jeden až dva řády nižší, než je vlastnost výchozího materiálu. Pro takto redukované

vlastnosti vrstev na vnitřní straně tepelné izolace by mělo být hodnoceno riziko a případné působení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dřevostavby.

S ohledem na bezpečnost jsou naopak vrstvy na vnější straně tepelné izolace uvažovány s nejméně dosažitelnými difuzními odpory. To se týká i vrstvy účinně chránící tepelně izolační vrstvu konstrukce dřevostavby proti působení náporu větru.

**Praktický závěr:** Kondenzaci vodní páry v konstrukcích je potřeba maximálně vyloučit. Při ověřování je třeba uvažovat reálnou netěsnost vrstev, zejména vlivem zabudování a provozu u tenkých vnitřních vrstev s vyššími faktory difuzního odporu  $\mu$ .

## 2.6. Průvzdušnost spár a netěsností obvodového pláště budovy

Požadavky na průvzdušnost obvodového pláště budovy vycházejí z předpokladu, že netěsnostmi obvodového pláště nelze zajistit požadovanou hygienickou výměnu vzduchu. Je to proto, že takto zajištěná dodávka je proměnlivá, v době potřeby bývá nedostatečná a mimo potřebu naopak nadbytečná. Zároveň exfiltrace v horních patrech zajišťuje nehygienickou dodávku znečištěného vzduchu, mívá se tedy s potřebným účinkem. Výměna vzduchu netěsnostmi je neřízená, čímž nadbytečně navyšuje spotřebu energie. Vylučuje také možnost zpětného využití tepla z odváděného vzduchu a možnost využití předohřevu (popř. chlazení) vzduchu v zemním výměníku. Průvzdušnost obvodového pláště budovy tedy jen mírně přispívá k jiným způsobem zajištěné výměně vzduchu.

Funkční spáry výplní otvorů jsou výjimkou, kde se připouští průvzdušnost podle tabulky 6, resp. požaduje se jen přiměřená těsnost funkčních spár. U nízkoenergetických budov se přitom doporučuje provádění těsnějších funkčních spár s téměř nulovou spárovou průvzdušností (při nuceném větrání se zpětným získáváním tepla).

**Tabulka 6** – Požadované hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti  $i_{LV,N}$

Funkční spára ve výplni otvoru	Požadovaná hodnota součinitele spárové průvzdušnosti $i_{LV,N}$ [ $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}^{0,67})$ ]	
	Budova s větráním přirozeným nebo kombinovaným	Budova s větráním pouze nuceným nebo s klimatizací
Vstupní dveře do zádveří budovy při celkové výšce nadzemní části budovy $h \leq 8$ m	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vstupní dveře do budovy Dveře oddělující ucelenou část budovy	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$0,30 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vnější výplně otvorů při celkové výšce nadzemní části budovy $h$	$h \leq 8$ m $8 < h < 20$ m $h \geq 20$ m	$0,87 \cdot 10^{-4}$ $0,60 \cdot 10^{-4}$ $0,30 \cdot 10^{-4}$

Průvzdušnost ostatních spár a netěsností v konstrukcích a mezi konstrukcemi dřevostavby musí být v průběhu užívání téměř nulová. To se zajišťuje vytvořením alespoň jedné souvislé vzduchotěsnicí vrstvy při vnitřním líci konstrukce.

Celková průvzdušnost obvodového pláště budovy se kontroluje experimentálním stanovením celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu 50 Pa podle

ČSN EN ISO 13829. Doporučuje se zajistit nižší intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$ , než uvádí tabulka 7.

**Tabulka 7** – Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50,N}$

Větrání v budově	$n_{50,N}$ [ $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ]
Přirozené	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění	0,6

Požadovanou výměnu čistého vzduchu určují především hygienické předpisy.

Pro místnosti obytných budov v době, kdy nejsou užívány, se v ČSN 73 0540-2 doporučuje nejnižší intenzita výměny vzduchu  $n_{\text{min},N} = 0,1 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  nestanoví-li zvláštní předpis a provozní podmínky odlišně.

V době, kdy tyto místnosti jsou užívány, leží požadovaná intenzita výměny vzduchu, přepočítaná z minimálních množství potřebného čerstvého vzduchu obvykle mezi hodnotami  $n_N = 0,3 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  až  $n_N = 0,6 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ .

Potřeba čerstvého vzduchu se přitom stanovuje z časového denního, týdenního a sezónního snímku užívání. Pro pobytové místnosti se zpravidla požaduje zajistit nejméně  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  na osobu při klidové aktivitě s produkcí metabolického tepla do  $80 \text{ W}/\text{m}^2$  a při aktivitě s produkcí metabolického tepla nad  $80 \text{ W}/\text{m}^2$  až nejméně  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  na osobu. Výměna vzduchu v hygienických zařízeních se zpravidla uvádí v hygienických předpisech v  $\text{m}^3/\text{h}$  vztažených na jednotku zařízení (na sprchu, šatní místo apod.). Uvedené hodnoty je třeba zajistit v provozní době, obvykle celoročně.

Požaduje se osazení účinného zařízení ke zpětnému získávání tepla z odpadního vzduchu, s ověřenou celkovou účinností nejméně 60 %, je-li při nuceném větrání nebo klimatizaci celková intenzita výměny vzduchu  $n > 2 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  po dobu nejméně 8 hodin denně v budově. Toto zařízení se doporučuje pro  $n > 1 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  a pro nízkoenergetické domy.

Tepelně izolační vrstva konstrukce musí být na vnější straně účinně chráněna proti působení náporu větru. Tento požadavek je důležitý u skládaných konstrukcí, zejména u konstrukcí s větranou vzduchovou vrstvou přiléhající k tepelné izolaci.

## 2.7. Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období

Tepelná stabilita v zimním období se hodnotí pro kritickou místnost, která musí na konci doby chladnutí  $t$  vykazovat nejvýše požadovaný pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období  $\Delta\theta_v(t)$  podle tabulky 8.

**Tabulka 8** – Požadované hodnoty poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období  $\Delta\theta_{v,N}(t)$

Druh místnosti (prostoru)	Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období $\Delta\theta_{v,N}(t)$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
S pobytem lidí po přerušení vytápění - při vytápění radiátory, sálavými panely a teplovzdušně;	3

- při vytápění kamny a podlahovém vytápění;	4
Bez pobytu lidí po přerušení vytápění	
- při přerušení vytápění otopnou přestávkou	
- budova masivní	6
- budova lehká	8
- při předepsané nejnižší výsledné teplotě $\theta_{v,min}$	$\theta_i - \theta_{v,min}$
- při skladování potravin	$\theta_i - 8$
- při nebezpečí zamrznutí vody	$\theta_i - 1$
Nádrže s vodou (teplota vody)	$\theta_i - 1$

Tepelná stabilita budovy v zimním období vyjadřuje její schopnost zachovat přiměřené vnitřní teplotní podmínky i na konci otopné přestávky, nebo při případné havarijní odstávce topné soustavy.

Pro dřevostavby je však obdobně jako pro jiné lehké stavby rozhodující hodnocení tepelné stability při přehřívání vnitřního vzduchu v letním období.

## 2.8. Tepelná stabilita místnosti v letním období

Tepelná stabilita v letním období se hodnotí pro kritickou místnost, ve které se hodnotí

a) buď nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\Delta\theta_{ai,max}$

b) nebo nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max}$ .

Požadované normové hodnoty nejvyššího denního vzestupu teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\Delta\theta_{ai,max,N}$ , popř. nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max,N}$  jsou uvedeny pro nevýrobní obytné budovy v prvním řádku tabulky 9.

**Tabulka 9** – Požadované hodnoty nejvyššího denního vzestupu teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\Delta\theta_{ai,max,N}$  a nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max,N}$

Druh budovy	Nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti v letním období $\Delta\theta_{ai,max,N}$ [°C]	Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max,N}$ [°C]
Nevýrobní	5,0	27,0
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla $\leq 25 \text{ W/m}^3$	7,5	29,5
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla $> 25 \text{ W/m}^3$	9,5	31,5

Dává se přitom přednost zajištění dostatečné tepelné stability stavebním řešením budovy spolu s předřazením zemního výměníku tepla pro chlazení větracího vzduchu, popř. chlazení akumulujících konstrukcí intenzivním nočním větráním před doháněním nedostatečné tepelné stability budovy její klimatizací. Je to investičně i provozně levnější, energeticky úspornější a při případně snížené dodávce energií i provozně bezpečnější.

I budovy s klimatizací musí při výpadku klimatizace splnit buď podmínku nejvyššího denního vzestupu teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\Delta\theta_{ai,max} \leq 12$  °C nebo nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max} \leq 32$  °C, přičemž se do výpočtu pro tento účel nezahrnuje ani chladicí výkon klimatizace ani tepelné zisky od technologických zařízení a kancelářského vybavení. Tato podmínka zajistí hospodárnost při dimenzování i provozu klimatizačního zařízení. Nesplnění požadavku se připouští výjimečně prokáže-li se, že jeho splnění není technicky možné nebo ekonomicky vhodné s ohledem na životnost budovy a její provozní účely.

Letní ochlazování budovy je obvykle více než dvojnásobně energeticky náročnější než vytápění budovy, proto je tato energetická náročnost zdůrazněna i ve směrnici o energetické náročnosti budov EPBD [4].

## 2.9. Stavebně energetické vlastnosti budovy

Stavebně energetické vlastnosti budovy vyjadřují vliv stavebního řešení na úsporu energie budovy na vytápění, popř. na nízkou energetickou náročnost budovy.

U novostaveb se požaduje:

- buď splnit normové doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_N$  pro všechny konstrukce na systémové hranici budovy v případech, kdy plocha výplní otvorů nepřekročí 15 % celkové podlahové plochy budovy,
- nebo splnit normové požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em,N}$  konstrukcí na systémové hranici (obálce) budovy v závislosti na faktoru tvaru (geometrické charakteristice) budovy  $A/V$  podle tabulky 10.

**Tabulka 10** – Normové hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em,N}$

Faktor tvaru budovy $A / V$ [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em,N}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty
≤ 0,2	1,05	0,75
0,3	0,80	0,58
0,4	0,68	0,50
0,5	0,60	0,45
0,6	0,55	0,42
0,7	0,51	0,39
0,8	0,49	0,38
0,9	0,47	0,36
≥ 1,0	0,45	0,35
Mezilehlé hodnoty (zaokrouhlené na setiny)	$0,30 + \frac{0,15}{(A/V)}$	$0,25 + \frac{0,10}{(A/V)}$

Nízké hodnoty  $U_{em}$  vytváří základní předpoklad pro dosažení celkově nízké energetické náročnosti budovy podle EPBD [4].

Při změnách a opravách dokončených budov se stejný požadavek musí splnit:

a) při změně a opravě více než 25 % obvodového pláště od dokončení budovy nebo od posledního hodnocení stavebně energetických vlastností budovy,

b) při požadovaném zpracování energetického auditu nebo průkazu energetické náročnosti (energetického certifikátu) budovy podle příslušných vyhlášek k zákonu č. 406/200 Sb. o hospodaření energií.

Při změnách a opravách dokončených budov je možné prokázat podle těchto vyhlášek, že splnění stavebně energetického požadavku je technicky, environmentálně nebo ekonomicky neproveditelné s ohledem na životnost budovy a její provozní účely. V tom případě lze překročit požadované stavebně energetické vlastnosti budovy nejvýše tak, aby prokazatelně nedocházelo k poruchám a vadám při užívání

Stavebně energetické řešení budovy lze vyjádřit stupněm tepelné náročnosti budovy  $STN = 100 \times U_{em}/U_{em,N}$  a klasifikaci znázornit tepelným štítkem budovy.

Pro nižší faktory tvaru je dosažení stavebně energetického požadavku snazší, přestože jsou požadované hodnoty přísnější. Např. pro budovy s  $A/V < 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  lze požadavek na  $U_{em}$  docílit s požadovanými hodnotami součinitele prostupu tepla  $U$  při ploše výplní otvorů pod 20 % celkové podlahové plochy budovy. Pro budovy s energeticky nevýhodným vyšším faktorem tvaru  $A/V$  je třeba ke splnění požadavku uplatnit nižší součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Snížení faktoru tvaru  $A/V$  přitom odpovídá kompaktnějším objemovým řešením a vede ke snížení spotřeby energie při stejně kvalitních obvodových konstrukcích. I proto má zásadní význam architektonická koncepce tvarového řešení dřevostavby.

Dřevostavby s výraznou tepelnou izolací a optimalizovanými tepelnými mosty v konstrukcích ( $U$ -hodnoty pod polovinou požadovaných hodnot), s optimalizací tepelných vazeb mezi konstrukcemi, s nuceným větráním s rekuperací a s nízkým faktorem tvaru umožňují dosažení uznávané nízkoenergetické až pasivní energetické kvality domů.

Vhodné technické zařízení domu pak tuto skutečnost ještě zvýrazní.

### 3. Normová návrhová doporučení [5]

#### 3.1. Celková koncepce budov [5]

Výsledné vlastnosti budovy lze zpravidla nejlépe ovlivnit při vytváření celkové koncepce v přípravné fázi projektu, zejména dobrou koordinací s koncepcí nosné funkce, vytápění a osvětlení budovy. Taková koncepce by měla být charakterizována mj. vyvážeností objemového a konstrukčně technologického řešení všech prostorů a konstrukcí při nejnižší energetické náročnosti budovy.

Budovy se navrhují tak, aby měly nízkou potřebu tepla na vytápění a zajišťovaly tepelnou ochranu v souladu s požadovanými normovými hodnotami, pokud nejsou jinými předpisy stanoveny požadavky přísnější. Smluvní strany si mohou dohodou stanovit vlastní přísnější cíle, např. na úrovni doporučených normových hodnot.

Rozhodující jsou výsledné energetické vlastnosti budovy jako celku při současném dodržení všech ostatních požadavků tepelné ochrany pro jednotlivé konstrukce a celou budovu.

Je vhodné navrhovat takové řešení budovy, aby bylo požadavku nízké energetické náročnosti dosahováno efektivně, tedy s nízkou investiční náročností a s malou zátěží životního prostředí po celý životní cyklus budovy. Kromě zde uvedených zásad k tomu lze využít dalších doporučení a zkušeností popsanych v odborné literatuře pro nízkoenergetické a pasivní domy, umožňující najít nejvýhodnější řešení pro konkrétní případ.

Při přípravě celkové koncepce budovy a při následném podrobnějším řešení je třeba v projekčním týmu důsledně zohledňovat potřebu nízké energetické náročnosti. Energetické vlastnosti budovy ovlivní (v odlišné míře podle povahy konkrétního projektu) zejména:

- a) volba pozemku a osazení budovy na něm,
- b) orientace ke světovým stranám s ohledem na dopad přímého solárního záření během roku, současné i v budoucnu předpokládané zastínění budovy okolní zástavbou, terénem a zelení, převládající směr větru;
- c) tvarové řešení budovy (kompaktnost tvaru, členitost povrchů), které se nejnáze vyjadřuje faktorem tvaru  $A/V$  podle zvláštního předpisu, tj. poměrem mezi ochlazovanou plochou obálky budovy a vytápěným objemem budovy (nižší hodnoty  $A/V$  jsou obvykle příznivější);
- d) vyloučení, popř. omezení koncepčních příčin tepelných mostů v konstrukcích a výrazných tepelných vazeb mezi konstrukcemi;
- e) vnitřní uspořádání s ohledem na soulad vytápěcích režimů, tepelných zón a orientaci prostorů ke světovým stranám,
- f) velikost vytápěných a nepřímo vytápěných podlahových ploch (objemů) a jejich přiměřenost danému účelu;
- g) velikost prosklených ploch na jednotlivých fasádách;
- h) očekávané vnitřní tepelné zisky podle charakteru provozu,
- i) další souvislosti.

Varianty koncepčního řešení spolu s vyjasněným energetickým cílem je vhodné podrobit orientačním výpočtům energetických vlastností budovy (např. podle ČSN EN 832 a zvláštního předpisu s použitím předběžně zvolených vlastností konstrukcí na systémové hranici), zejména hodnot součinitelů prostupu tepla (ležících obvykle mezi požadovanými a doporučenými normovými hodnotami, nebo nižších u budov se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění) a v další fázi projektování pokračovat na celkově nejvýhodnějších variantách.

Při změnách stávajících budov je třeba koncepčně připravit jejich energetickou obnovu, zpravidla s tím předpokladem, že budova bude mít po změně životnost srovnatelnou s novostavbou. V úvahu se vezme ověřená nebo odhadnutá zbytková životnost jednotlivých prvků budovy, stav jejich povrchových vrstev, požadavky na změny vytápěcího režimu a osvětlení, změny provozu apod.

Při návrhu nových konstrukcí, které budou vytvářet novou ucelenou část měněné budovy (přístavby, nástavby), se postupuje jako u novostaveb. Při návrhu potřebných

úprav stávajících konstrukcí v rámci původní budovy se vychází z aktuálních tepelně technických vlastností zjištěných experimentálně nebo odborně odhadnutých s využitím literatury nebo zkušenosti z jiných objektů a stanovené úrovně nových požadavků (požadované, doporučené nebo ještě progresivnější).

Díličí změna a/nebo výměna konstrukcí ve stávající budově může vyvolat změnu parametrů vnitřního prostředí (např. zvýšení vlhkosti vzduchu v důsledku výměny oken za těsnější, nebo provedení pojistné hydroizolace pod krytinou šikmé střechy, nebo oprava jednoplášťové ploché střechy doplněním další vrstvy hydroizolace). V takovém případě je třeba současně zlepšit vlastnosti dalších konstrukcí (například ostění, nadpraží a parapetů dodatečnou tepelnou izolací) nebo současně změnit provozní režim (nucené větrání).

U budov s rozsáhlými prosklenými plochami, zejména administrativních, je potřebné se zabývat potřebou energie pro chlazení v přechodném a letním období. Výraznému snížení potřeby provozní energie mohou napomoci: vhodná koncepce vedoucí k přiměřené velikosti prosklených ploch (s ohledem na orientaci ke světovým stranám), vhodné stínící prostředky, tepelně akumulující hmoty v budově a vhodný režim větrání, včetně chlazení nočním vzduchem. Strojní chlazení a klimatizace budov by mělo být výjimečným řešením pro budovy (části budov, místnosti) se zvláště přísnými požadavky na tepelnou stabilitu (operační sály, speciální technologie) a v jiných případech pouze jako doplněk po vyčerpání „přirozených“ stavebních možností. Klimatizace a chlazení mají být regulovatelné podle místností a aktuálních provozních požadavků. Současně by mělo být řešeno zpětné využití tepla odváděného z chlazených prostor, zejména u větších objemů upravovaného vzduchu, pokud to místní podmínky umožňují.

U budov s lehkým obvodovým pláštěm (obvykle na bázi dřeva, kovu, plastu) je možné nízké tepelně akumulační vlastnosti obvodového pláště do jisté míry kompenzovat kombinací s hmotným akumulačním jádrem budovy, tj. s masivními stropy a masivními vnitřními konstrukcemi. Povrchy tepelně akumulačních vrstev takových konstrukcí musí být ovšem přivráceny k prostoru, kde se má jejich efektu využít, a to bez dalších „odstiňujících“ vrstev (podhledů, lehkých obkladů, tepelných izolací při povrchu podlahy). Celkový účinek takového řešení by měl být, zejména u rozsáhlejších projektů, posouzen podrobnou výpočtovou simulací podle očekávaného klimatického zatížení v charakteristických úsecích roku a ve vazbě na řešení vytápění a větrání.

Vlhkost stavebních materiálů při jejich zabudování má být nízká, nejvýše však na úrovni předepsané výrobcem.

V důsledku užití mokřých procesů při výstavbě může být v počátečním období provozu budovy vlhkost vzduchu v budově vyšší, někdy i výrazně, než odpovídá návrhovým hodnotám. V takovém případě je potřebné na nezbytnou dobu zajistit technickými a organizačními opatřeními intenzivnější, celkově větší větrání budovy (popřípadě v kombinaci s vytápěním), s odlišným provozním režimem, než je návrhový stav.

U budov s vlhkými a mokřými provozy, kde není možné zcela vyloučit občasnou kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu konstrukcí nebo odstříkující vodu, se navrhuje vnitřní povrch konstrukcí s materiály dlouhodobě odolávajícími takovému vlhkostnímu zatížení. Doporučuje se obdobně řešit i vnitřní povrch přilehlých konstrukcí.

Místnosti v budovách mají být větrány tak, aby byly splněny požadavky na kvalitu vnitřního prostředí při nízké energetické náročnosti. V koupelnách se nedoporučuje řešit větrání výlučně okny. V bytových koupelnách se nedoporučuje umisťovat okna nad vanami. V bytových kuchyních se nedoporučuje používat digestoře bez odvodu vzduchu, pokud není současně řešeno nucené větrání prostoru. Při nucené výměně vzduchu v prostorech s proměnlivou vlhkostí, jako jsou kuchyně a koupelny, se doporučuje zajistit automatické zapnutí odtahových ventilátorů při relativní vlhkosti vzduchu nad 80 %.

### 3.2. Navrhování budov s velmi nízkou energetickou náročností [5]

Základem návrhu je vyváženost všech složek ovlivňujících energetickou bilanci budovy. Dosaženou nízkou potřebou tepla na vytápění, díky vhodnému koncepčnímu i detailnímu stavebnímu řešení, je zpravidla možné s výhodou kombinovat s vhodným uplatněním otopných soustav využívajících v různé míře obnovitelných zdrojů energie. Velmi nízká energetická náročnost by měla být zajištěna v celém životním cyklu budovy.

Budovy s velmi nízkou energetickou náročností mají průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  výrazně nižší, než je požadovaná normová hodnota. Tento požadavek lze ve smluvních vztazích snadno vyjádřit stupněm tepelné náročnosti budovy, například jako  $STN \leq 60 \%$ .

Obvyklým vyjádřením energetických vlastností budovy s velmi nízkou energetickou náročností je plošná měrná potřeba tepla na vytápění  $e_A$  vztažená na 1 m<sup>2</sup> podlahové plochy vytápěné části budovy a rok. Stanovená hodnota se srovnává s určenou úrovní, tedy bez ohledu na tvar budovy.

Nízkoenergetické domy jsou budovy s roční plošnou měrnou potřebou tepla na vytápění  $e_A$  nepřesahující 50 kWh/(m<sup>2</sup>·a) a které využívají velmi účinnou topnou soustavu. Podle stavu techniky se může v budoucnu tato hraniční hodnota dále snižovat.

Pasivní domy jsou budovy s roční plošnou měrnou potřebou tepla na vytápění  $e_A$  nepřesahující 15 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Takto nízkou energetickou potřebu budovy lze krýt bez použití obvyklé otopné soustavy, pouze se systémem nuceného větrání obsahujícím účinné zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu a malého zařízení pro dohřev vzduchu v období velmi nízkých venkovních teplot. Navíc musí být zajištěno dosažení návrhových teplot vnitřního vzduchu po provozní přestávce v přiměřené době uvedené v projektové dokumentaci. Současně nemá u těchto budov celkové množství primární energie spojené s provozem budovy (vytápění, ohřev teplé vody a elektrická energie pro spotřebiče) překračovat hodnotu 120 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Primární energie je taková, kterou je třeba uvolnit při energetické přeměně v místě zdroje. Podle povahy zdroje se používá přepočtu: primární energie = energie potřebná na vstupu do budovy x faktor energetické přeměny. Faktor energetické přeměny se uvažuje hodnotou 3,0 pro elektrickou energii, 1,0 pro obvyklá paliva, 1,1 pro obvyklé dálkové vytápění, hodnotou 0 pro obnovitelné zdroje energie, nejsou-li k dispozici podrobnější místní údaje nebo jiné závazné hodnoty (např. ve vyhláškách k zákonu č. 406/2000 Sb.).

Při přípravě koncepčního i detailního řešení budov s velmi nízkou energetickou náročností se postupuje zvláště pečlivě. Obvodové konstrukce je vhodné navrhovat tak, aby hodnoty součinitele prostupu tepla byly nižší než normové doporučené hodnoty. Doporučuje se využít nuceného větrání budovy. K tomu se navrhují

zpravidla kompaktní a ověřená vzduchotechnická zařízení se zpětným získáváním tepla. Musí být řešena tak, aby především zajišťovala:

- a) hygienickou nezávadnost a dobrou kvalitu vzduchu v požadovaném množství;
- b) možnost regulace výkonu zařízení podle aktuálních provozních požadavků ve velkém rozsahu hodnot, podle potřeby navrhované ve více okruzích;
- c) vyloučení šíření hluku mezi jednotlivými místnostmi vzduchotechnickým potrubím (vhodným uspořádáním jednotlivých větví vzduchovodů, umístění účinných tlumičů hluku ve vzduchovodech, atd.);
- d) možnost pravidelného čištění a revize,
- e) vysokou certifikovanou účinnost zpětného získávání tepla.

Pokud se navrhuje předřazený zemní výměník tepla sloužící k předehřívání čerstvého vzduchu, musí splňovat hygienické požadavky a být řešen tak, aby případný kondenzát stékal do místa přístupného pro čištění a revize. Celková účinnost zemního výměníku se má prověřit podrobnou výpočtovou simulací zohledňující místní podmínky (hloubku umístění, druh zeminy, vlhkostní poměry, přítomnost a charakter spodní vody), uspořádání větví potrubí, jejich materiál, očekávaný časový průběh provozu apod. Příznivých investičních nákladů zemního výměníku lze dosáhnout vhodným sloučením s dalšími nutnými stavebními činnostmi (zemní práce a zakládání, nutná stavba opěrné zdi apod.).

Mají-li být součástí budovy aktivní solární prvky, sloužící podpoře ohřevu teplé vody, podpoře vytápění nebo výrobě elektrické energie, je vhodné řešit je tak, aby se staly integrálními součástmi obvodové konstrukce.

K dosažení úrovně pasivního domu je zpravidla potřebné splnění celé řady požadavků:

- a) Nutný je koncepční přístup, zejména co nejlépe a detailně respektující místní podmínky a využívající co nejkompaktnějšího tvaru vytápěné části budovy. Výpočty potřeby tepla, se zpravidla provedou ve dvou úrovních, nejprve orientační pro volbu koncepce a pak detailní, podle navržených variant řešení. Vnitřní tepelné zisky od osob, spotřebičů a technologických zařízení se musí stanovit zvláště pečlivě, protože v energetické bilanci pasivního domu hrají mimořádně významnou roli.
- b) Doporučuje se, aby měrná tepelná ztráta budovy (podle ČSN EN 832) vztažená na  $1 \text{ m}^2$  podlahové plochy vytápěné části budovy nepřekračovala  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .
- c) Hodnoty součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí nemají překračovat hodnotu  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Tam, kde je to konstrukčně a bez výrazného navýšení ceny konstrukce možné, se doporučují hodnoty nižší (například u střech je vhodné  $U \leq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ). Okna mají mít výsledný součinitel prostupu tepla  $U \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (výpočtové hodnocení podle ČSN EN 10077-1), při celkové energetické propustnosti solárního záření  $g \geq 0,5$ . Pokud je výjimečně součinitel prostupu tepla některé (jednotlivé) prosklené plochy mírně vyšší, musí být zvláště pečlivě eliminován nepříznivý vliv takové chladné plochy.
- d) Všechny obvodové konstrukce a jejich napojení mají být řešeny tak, aby byly minimalizovány tepelné mosty v konstrukcích a tepelné vazby mezi nimi, a to jak v důsledku pečlivého projektového řešení s podrobným zpracováním

všech detailů, tak pečlivým prováděním a kontrolou provádění. Za řešení s minimalizovaným vlivem tepelných vazeb se považují taková, kdy jednotlivý lineární činitel prostupu tepla tepelné vazby stanovený s užitím vnějších rozměrů konstrukcí podle ČSN EN ISO 14683 nepřekračuje hodnotu  $\Psi = 0,01 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  a souhrnný vliv v rámci budovy je nulový. Pokud by tuto hodnotu přesahoval, musí být vliv tepelných vazeb zahrnut do energetického hodnocení. U osazovací spáry oken se doporučuje překrytí části rámu okna pruhem tepelné izolace, který je součástí tepelné izolace v neprůsvitné části konstrukce, nebo na ní navazuje.

- e) Obvodové konstrukce musí být prakticky vzduchotěsné. Experimentální ověření podle ČSN EN 13829 se doporučuje provést vždy, a to ještě před úplným dokončením stavby.
- f) Nucené větrání má mít celkovou účinnost zpětného získávání tepla vyšší než 75 % a nízkou spotřebu elektrické energie na provoz.
- g) Při přípravě a rozvodu teplé vody se má dosahovat nízkých tepelných ztrát.
- h) Použitím energeticky úsporných elektrických spotřebičů se má dosahovat vysoké účinnosti využití elektrické energie

Zimní zahrady, prosklené lodžie a jiné podobné prostory zpravidla nepřispívají k dalšímu zlepšení energetické bilance pasivního domu. Pokud jsou z jiných důvodů navrženy, je třeba zajistit jejich dokonalé tepelné oddělení od vytápěného prostoru, dále zajistit jejich účinné větrání a stanovit vhodný způsob jejich užívání. Konstrukce oddělující vytápěnou zónu od těchto prostorů se zpravidla navrhuje shodně s ostatními obvodovými konstrukcemi.

Kromě těchto citací z [5] lze nalézt další vhodná konstrukční doporučení v ČSN 73 0540-2 v příloze A - Pokyny pro navrhování.

## Závěr

Novelizované tepelně technické a energetické požadavky na stavební konstrukce a budovy vytvářejí předpoklad vyváženého řešení dřevostaveb bez rizika vad a poruch, s nízkými provozními nároky a příznivým vnitřním prostředím. Požadavky sledují trend formulovaný směrnici EPBD o energetické náročnosti budov.

## Literatura

- [1] Vyhláška k Stavebnímu zákonu č. 137/1998 Sb., o obecných technických požadavcích ve výstavbě
- [2] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, v platném znění
- [3] Novela zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění poslaneckého tisku 1097/2005
- [4] Směrnice 2002/91/ES, o energetické náročnosti budov (EPBD)
- [5] ČSN 73 0540-2:2002 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky; včetně Z1:2005
- [6] ČSN 73 0540-3:2005 Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- [7] ČSN 73 0540-4:2005 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody

- [8] Šála J.: Zateplování budov, Grada 2000
- [9] Tywoniak J.: Nízkoenergetické domy. Principy a příklady, Grada 2005