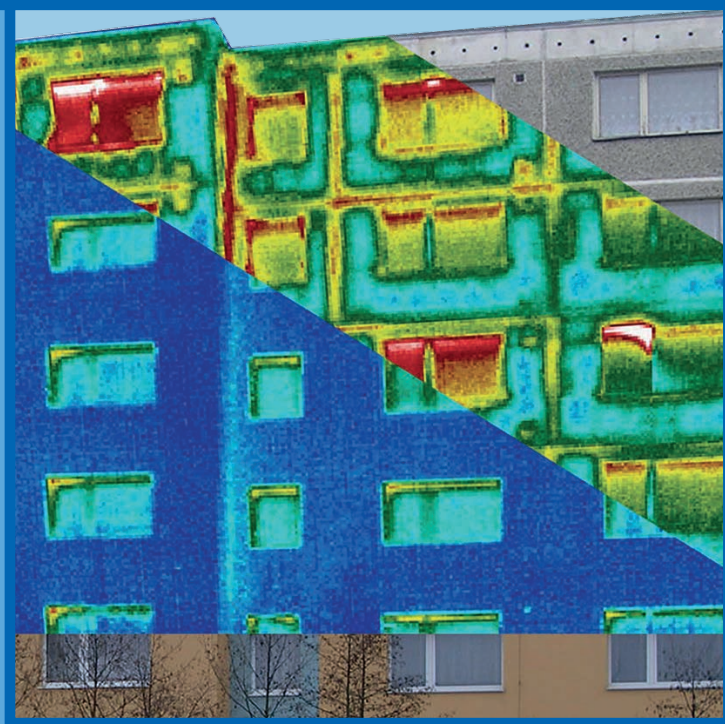


# STAVEBNÍ FYZIKA

NÁVRH A POSUZOVÁNÍ STAVEB Z HLEDISKA STAVEBNÍ FYZIKY



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



STŘEDNÍ  
PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA  
STAVEBNÍ  
OPAVA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Návrh a posuzování staveb z hlediska stavební fyziky

Technická příručka pro žáky středních průmyslových škol stavebních  
oboru 36-47-M/01 Stavebnictví.

Ing. Radim Mařík  
Ing. Lubomír Odehnal  
Ing. Pavel Štajnt

2014  
Opava



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato příručka vznikla na základě finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky  
v rámci projektu OP VK „Stavebnictví 21“, reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.

Děkujeme za vstřícnou spolupráci při tvorbě příručky

Ing. Elišce Krejčířkové  
Ing. Romanu Pavelkovi

---

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Tepelná ochrana budov</b>	<b>3</b>
2.1 Součinitel prostupu tepla	3
2.1.1 Požadavky	3
2.1.2 Výpočet	5
2.2 Nejnižší vnitřní povrchová teplota	8
2.2.1 Požadavky	8
2.2.2 Výpočet	10
2.3 Šíření vlhkosti konstrukcí	11
2.3.1 Požadavky	12
2.3.2 Výpočet	12
2.4 Vzduchotěsnost	13
2.4.1 Požadavky	13
2.4.2 Hodnocení	13
2.5 Ostatní tepelnětechnické požadavky	14
2.5.1 Tepelné mosty - Lineární a bodový činitel prostupu tepla	14
2.5.2 Tepelná stabilita místnosti	14
2.5.3 Pokles dotykové teploty podlahy	15
<b>3 Energetika staveb</b>	<b>17</b>
3.1 Spotřeba energie ve stavbách	17
3.1.1 Spotřeba energie na úpravu parametrů vnitřního prostředí	17
3.1.2 Spotřeba energie na přípravu teplé vody	21
3.1.3 Ostatní spotřeby energie v objektu	23
3.1.4 Možnosti snižování spotřeby energie v budovách – rekonstrukce	24
3.2 Energetické dokumenty	24
3.2.1 Energetický audit	24
3.2.2 Energetický posudek	24
3.2.3 Průkaz energetické náročnosti budovy	25
3.2.4 Energetický štítek obálky budovy	25
3.2.5 Energetická studie	25
3.3 Stavby s velmi nízkou spotřebou energie	28
<b>4 Akustika</b>	<b>29</b>
4.1 Zvuková izolace	29
4.1.1 Požadavky	29
4.1.2 Hodnocení	31
4.1.3 Zvuková izolace konstrukcí v praxi	32
4.2 Prostorová akustika	34
4.3 Hluk uvnitř a v okolí staveb	36
<b>5 Osvětlení a oslunění</b>	<b>39</b>
5.1 Denní osvětlení	39
5.2 Umělé osvětlení	40
5.3 Oslunění	41

---

<b>6 Diagnostika staveb .....</b>	<b>43</b>
6.1 Termovizní snímkování - termodiagnostika .....	43
6.2 Test vzduchotěsnosti – BLOWER-DOOR TEST .....	44
6.3 Měření parametrů vnitřního prostředí .....	47
6.4 Akustická měření .....	48
<b>7 Použitá literatura .....</b>	<b>51</b>
<b>8 Obrazové přílohy .....</b>	<b>53</b>

# 1 Úvod

Pojem stavební fyzika vypadá na první pohled nepřístupně a až příliš vědecky. Ve skutečnosti se však lidé pracující v tomto oboru zabývají řešením otázek a problémů, které se týkají každodenního života každého z nás. Pod pojmem stavební fyzika se skrývají obory tepelná ochrana budov, energetika, akustika, osvětlení, oslunění a diagnostika staveb. Hlavním společným cílem těchto oborů je vytvoření příjemného a zdravého prostředí v budovách určených k pobytu lidí. Dalším významným úkolem oboru stavební fyzika je ovlivňování návrhu budov ve fázi projektování tak, aby byly navrhovány hospodárně, s nízkými provozními náklady a dlouhou životností.

K tomu, aby projektanti navrhovali stavby v souladu se zásadami stavební fyziky a aby stavebníci takové stavby stavěli, jim slouží požadavky a doporučení uvedené v Českých technických normách (ČSN). České technické normy a požadavky v nich uvedené nejsou přímo závazné. Závaznost většiny těchto požadavků však vyplývá ze zákonů, popř. z nařízeních vlády České republiky. Do českých zákonů se tyto požadavky dostávají implementací evropských směrnic a nařízeních, které se Česká republika jako člen Evropské Unie zavázala dodržovat a včleňovat do své legislativy. Nejdůležitější ČSN a zákony týkající se oboru stavební fyzika jsou uvedeny v kapitole 7. této publikace.

Snahou autorů této publikace je shrnout základní teoretickou problematiku stavební fyziky a propojit ji v co největší míře se současnou stavební praxí. Publikace je určena studentům středních průmyslových škol stavebních. Svým rozsahem a hloubkou popisu fyzikální teorie tedy publikace odpovídá předpokládaným znalostem budoucích mistrů na stavbách, budoucích obchodních zástupců firem produkujících stavební materiály, budoucích úředníků na stavebních úřadech atd. Rovněž může sloužit jako základní kámen pro další studium problematiky studentům vysokých škol.

Autoři



## 2 Tepelná ochrana budov

Pojem tepelná ochrana budov v sobě skrývá soubor činností projektanta, kterými je dosaženo toho, aby byly splněny současné požadavky na nízkou spotřebu energie na vytápění a požadavky na kvalitu vnitřního prostředí v budovách.

Konkrétně to znamená, že jsou hodnoceny navržené skladby obvodových konstrukcí (stěny, střechy, podlahy, okna) z hlediska jejich schopnosti tepelně izolovat a je sledováno zda v zimě nebudou mít vnitřní povrchy obvodových konstrukcí nízkou povrchovou teplotu (čímž se vylučuje riziko růstu plísně nebo kondenzace vodní páry na tomto povrchu). Dalším sledovaným kritériem je vlhkostní režim ve skladbách obvodových konstrukcí v průběhu roku – sledujeme, jestli např. v navržené skladbě střechy nebude v zimě docházet ke kondenzaci vodní páry apod. To vše a ještě mnohem více spadá do oblasti tepelné ochrany budov. V následujících kapitolách jsou podrobněji rozebrány jednotlivé požadavky včetně praktických poznámek.

Všechny tepelnětechnické požadavky jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Požadavky.

### 2.1 Součinitel prostupu tepla

V zimním období, kdy budovy vytápíme na požadovanou vnitřní teplotu (zpravidla 20°C) požadujeme od obvodových konstrukcí domu, aby tato teplota byla v domě udržována při co nejnížší spotřebě energie na vytápění. Proto musí obvodové konstrukce (stěny, střecha, podlaha, výplně otvorů) vykazovat co nejlepší tepelněizolační vlastnosti.

Součinitel prostupu tepla  $U$  a tepelný odpor konstrukce  $R$  jsou základními veličinami, které nám tepelněizolační vlastnosti konstrukcí charakterizují. V současné době se používá hodnocení pomocí součinitele prostupu tepla  $U$ , v minulosti bylo hodnocení prováděno pomocí tepelného odporu  $R$ .

Součinitel prostupu tepla se uvádí v jednotkách  $W/(m^2K)$  a udává nám velikost tepelného toku ve wattech, šířícího se plochou  $1 m^2$  dané konstrukce při teplotním rozdílu 1 Kelvin.

#### 2.1.1 Požadavky

Součinitel prostupu tepla budov konstrukcí vytápěných budov musí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu menší než 60% splňovat podmínku:

$$U \leq U_N$$

kde  $U_N$  je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla ve  $W/(m^2K)$

Pro obvodové konstrukce budov s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18°C – 22 °C platí požadované  $U_N$  uvedené v Tab.1. V tabulce jsou uvedeny hodnoty požadované, které je nutno splnit. Dále jsou zde uvedeny hodnoty doporučené, při jejichž splnění bude objekt vykazovat nižší energetickou náročnost. Jako poslední jsou v tabulce uvedeny hodnoty součinitele prostupu tepla doporučené pro tzv. pasivní domy (viz kap. 3.3).

Pro budovy s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu vyšší než 60% a pro budovy s vnitřní teplotou mimo rozmezí 18°C – 22°C (např. plavecké bazény, školní tělocvičny apod.) se požadované hodnoty  $U_N$  stanovují výpočtem. Tento výpočetní postup přesahuje rozsah této publikace a čtenář jej může najít v normě ČSN 73 0540-2.

Dále se pro každý vytápěný objekt hodnotí tzv. průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$ . Jedná se o údaj, kterým jsou charakterizovány tepelněizolační vlastnosti obvodových konstrukcí domu jako celku. Na základě vypočtené hodnoty  $U_{em}$  je objekt zařazen do jednotlivých kategorií energetického štítku obálky budovy (viz. kap. 3.2.4).

Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  musí splňovat podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N}$$

kde  $U_{em,N}$  je požadovaná průměrného součinitele prostupu tepla ve  $W/(m^2K)$ . Postup pro stanovení požadované hodnoty  $U_{em,N}$  je uveden v normě ČSN 73 0540-2.



Tab. 1 – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18°C až 22°C včetně

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> K]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,3	Těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		Lehká: 0,20*	
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,3	0,2	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,3	0,2	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,3	Těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		Lehká: 0,20*	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,6	0,4	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,6	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,7	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C včetně	1,05	0,7	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C včetně	1,3	0,9	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5°C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5°C včetně	2,7	1,8	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4
Lehký obvodový plášť (LOP) hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$ , v m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> kde A je celková plocha LOP v m <sup>2</sup> a A <sub>w</sub> je plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP, v m <sup>2</sup>	pro $f_w \leq 0,5$ 0,3 + 1,4 $f_w$	0,2 + $f_w$	0,15 + 0,85 $f_w$
	pro $f_w > 0,5$ 0,7 + 0,6 $f_w$		
Kovový rám výplně otvoru	-	1,8	1
Nekovový rám výplně otvoru	-	1,3	0,9 – 0,7
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,8	1,2

\* Lehká konstrukce je konstrukce s nízkou tepelnou setrvačností, která má plošnou hmotnost vrstev (od vnitřního líce k rozhodující tepelněizolační vrstvě včetně) nižší než 100 kg/m<sup>2</sup>

## 2.1.2 Výpočet

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$  vypočteme podle následujícího vzorce:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} + \Delta U \quad [W/(m^2K)]$$

kde

$R$  je tepelný odpor konstrukce v  $m^2K/W$  a stanovuje se podle následujícího vzorce:

$$R = \sum \frac{d}{\lambda} \quad [m^2K/W]$$

kde

$d$  je tloušťka jednotlivých vrstev konstrukce v m

$\lambda$  je tepelná vodivost jednotlivých materiálů ve  $W/mK$

$R_{si}$  je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně v  $m^2K/W$

pro vodorovný tepelný tok (stěny)  $R_{si} = 0,13$

pro tepelný tok nahoru (střechy)  $R_{si} = 0,10$

pro tepelný tok dolů (podlahy)  $R_{si} = 0,17$

$R_{se}$  je tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně v  $m^2K/W$

pro jednoplášťové konstrukce  $R_{se} = 0,04$

pro dvouplášťové konstrukce  $R_{se} = R_{si}$

pro styk se zemínou  $R_{se} = 0$

$\Delta U$  je přírůžka na systematické tepelné mosty ve  $W/(m^2K)$

Pro výpočet tepelného odporu  $R$  je nutno použít hodnotu tepelné vodivosti  $\lambda_u$ , což je tzv. návrhová hodnota. Tuto hodnotu pro jednotlivé materiály je možné najít v normě ČSN 73 0540-3. Pro základní materiály jsou hodnoty uvedeny v Tab.2. V praxi se při uvádění hodnoty tepelné vodivosti (v technických listech jednotlivých výrobků, které je možné najít na internetových stránkách výrobců) nejčastěji uvádí tzv. deklarované hodnoty tepelné vodivosti  $\lambda_d$ . Přesný vztah mezi výrobcí uváděnými hodnotami  $\lambda_d$  a pro výpočet potřebnými návrhovými hodnotami  $\lambda_u$  je vždy dán metodikou podle které byla stanovena hodnota  $\lambda_d$ . Pro stavební praxi je možno použít orientační přepočtení kdy  $\lambda_u = 1,1 \lambda_d$ .

Tab. 2 – Návrhové hodnoty tepelné vodivosti  $\lambda_u$  pro vybrané stavební materiály

Materiál	$\lambda_u$ [W/mK]	Materiál	$\lambda_u$ [W/mK]
Železobeton – 2400 kg/m <sup>3</sup>	1,580	Dutinový železobetonový panel	1,200
Beton prostý – 2200 kg/m <sup>3</sup>	1,300	Lepící malta pro fasádní zateplovací systém	0,800
Zdivo z cihel plných – 1700 kg/m <sup>3</sup>	0,780	Výztužná vrstva – fasádní zateplovací systém	0,800
Plynosilikátové zdivo (YTONG P2-500)	0,150	Tenkovrstvá vnější omítka – fas. zatepl. systém	0,800
Omítka vápenocementová	0,990	Fólie z PE	0,350
Polystyrenové desky - EPS 70	0,040	Asfaltový pás	0,210
Polystyrenové desky - EPS 100	0,038	Hydroizolační PVC-P fólie	0,160
Desky z minerálních vláken – 50 kg/m <sup>3</sup>	0,041	Štěrka	0,650
Desky z minerálních vláken – 150 kg/m <sup>3</sup>	0,049	Dřevo – tepelný tok kolmo k vláknům	0,180
Extrudovaný polystyren – XPS – 30-35 kg/m <sup>3</sup>	0,036	Sádrokarton	0,220
OSB deska	0,130	Ocel uhlíková	50,000
Škvára	0,270	Difúzně propustná fólie	0,300
Fenolová pěna – KOOLTHERM (tl. 45 mm a více)	0,024	Keramický obklad	1,010
PIR – TOPDEK 022 PIR	0,022	Dřevotřísková	0,180

Člen  $\Delta U$  ve vzorci pro výpočet  $U$  nám představuje přírážku na systematické tepelné mosty tzn. vliv např. kotev ve fasádním zateplovacím systému, kotev ve skladbě ploché střechy nebo vliv dřevěných krokví ve skladbě střechy s tepelnou izolací mezi krokvi, dřevěných sloupků v obvodové stěně dřevostavby apod. Tyto systematické tepelné mosty není možno ve výpočtu zanedbat, protože zanedbáním jejich vlivu bychom vnesli do výpočtu velkou chybu.

Ruční výpočtové stanovení součinitele prostupu tepla, bez použití výpočetního softwaru, je možné pohodlně provést pouze v případě těch nejjednodušších skladeb, kde hlavní vrstva tepelné izolace není přerušována jiným materiálem. Například se jedná o souvrství klasických jednoplášťových plochých střech, nebo obvodové stěny s kontaktním zateplovacím systémem. Zjednodušeně tam, kde můžeme systematické tepelné mosty (člen  $\Delta U$ ) v některých případech zanedbat nebo je započítat jednoduše zjistitelnou hodnotou.

Zanedbat systematické tepelné mosty vzniklé kotvením můžeme v případě kontaktního zateplení obvodových stěn v případě, kdy je kotvení provedeno hmoždinkou s plastovým trnem. Pokud je použit trn kovový je nutno k výslednému  $U$  připočítat hodnotu  $\Delta U$ , kterou získáme od výrobce kotevních prvků, vypočteme postupem uvedeným v ČSN EN ISO 6946 nebo případně použijeme orientační hodnotu  $\Delta U = 0,02 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (výše přírážky vychází z odborné praxe autora publikace).

U skladeb plochých střech je možno vliv kotvení zanedbat v případě, že jsou použity teleskopické plastové hmoždinky, pomocí kterých dojde k zapuštění ocelového trnu hlouběji do tepelné izolace. Pokud jsou použity ocelové trny bez teleskopů je nutno přírážku spočítat postupem podle ČSN EN ISO 6946 nebo je možno použít orientační hodnotu  $\Delta U = 0,02 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (výše přírážky vychází z odborné praxe autora publikace).

Pro nadkroevní systémy zateplení šikmých střech (např. systém TOPDEK) je nutno započítat korekci  $\Delta U$  vždy. Nadkroevní systém tepelné izolace je vždy stabilizován pomocí ocelových kotevních vrutů, kterými je kotvena kontralať do dřevěné krokve skrz vrstvu tepelné izolace. Pro systém TOPDEK jsou hodnoty korekcí uvedeny v Tab.3.

Tab. 3 – Korekce  $\Delta U$  pro kotevní vruty TOPDEK ASSY ve  $\text{W/m}^2\text{K}$

Počet kotevních vrutů TOPDEK ASSY v 1 m <sup>2</sup> plochy střechy	Tloušťka tepelné izolace			
	100-140 mm	140 – 190 mm	200 – 240 mm	240 – 260 mm
1	0,008	0,007	0,006	0,005
2	0,016	0,014	0,012	0,010
3	0,024	0,021	0,018	0,015
4	0,032	0,028	0,024	0,020
5	0,040	0,035	0,030	0,025
6	0,048	0,042	0,036	0,030

Součinitel prostupu tepla  $U$  pro skladby obvodových stěn dřevostaveb, šikmých střech zateplených mezi krokvi, plochých střech s obráceným pořadím vrstev, sádkartonových podhledů se zateplením, ale také skladeb s uzavřenými vzduchovými vrstvami je nutno stanovit pomocí výpočetního softwaru (např. Teplo – Svoboda Software). Stanovení přírážky  $\Delta U$  je pro tyto skladby již složitější. Dále je možno výpočetním softwarem zahrnout do výpočtu další druhy přírážek a zohlednit jednotlivé výjimečnosti těchto typů skladeb.

Naprosto samostatnou kapitolou je stanovení součinitele prostupu tepla konstrukcí se složitějšími tepelnými mosty – jako jsou například ocelové rošty nebo bodové ocelové kotvy vnějších fasádních systémů, které prostupují tepelněizolační vrstvou. Pro tyto konstrukce by měl hodnotu součinitele prostupu tepla výpočtem stanovit pouze odborník v oboru tepelná technika s využitím softwaru pro 2D a 3D vedení tepla konstrukcí.

**Příklad 1**

Stanovte součinitel prostupu tepla  $U$  dodatečně zatepované obvodové stěny rodinného domu z cihelného zdiva tloušťky 450 mm, kontaktním zatepovacím systémem z EPS 70 F tl. 120 mm. Kotvení tepelné izolace bude provedeno plastovými zatlučovacími trny. Výsledek porovnejte s požadavkem  $U_N$  podle ČSN 73 0540-2 (viz Tab.1).

Skladba navržené konstrukce:	tloušťka vrstvy	tepelná vodivost $\lambda_{u}$ (viz Tab.2)
vnitřní vápenocementová omítka	15 mm	0,990
cihelné zdivo	450 mm	0,780
vnější vápenocementová omítka	15 mm	0,990
lepící malta zatepovacího systému	5 mm	0,800
EPS 70 F	120 mm	0,040
výztužná vrstva s omítkou	6 mm	0,800

Výpočet tepelného odporu  $R$ :

$$R = \sum ( d / \lambda_{u} ) = 0,015 / 0,99 + 0,450 / 0,78 + 0,015 / 0,99 + 0,005 / 0,8 + 0,120 / 0,04 + 0,006 / 0,8$$

$$R = 3,62 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$ :

$$U = ( 1 / ( R_{si} + R + R_{se} ) ) + \Delta U = ( 1 / ( 0,13 + 3,62 + 0,04 ) ) + 0$$

$$U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vyhodnocení:

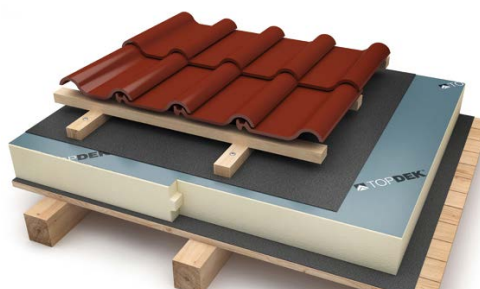
$$U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K} < U_N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$  navržené konstrukce vyhovuje požadavku ČSN 73 0540-2 na vnější obvodovou stěnu rodinného domu.

**Příklad 2**

Stanovte součinitel prostupu tepla  $U$  šikmé střechy (dvouplášťová konstrukce) rodinného domu provedené systémem nadkrokevního zateplení TOPDEK. Tepelná izolace střechy bude provedena z tepelněizolačních desek TOPDEK 022 PIR tl. 100 mm. Kotvení tepelné izolace bude provedeno ocelovými kotevními vruty TOPDEK ASSY (4 ks/m<sup>2</sup>). Výsledek porovnejte s požadavkem  $U_N$  podle ČSN 73 0540-2 (viz Tab.1).

Skladba navržené konstrukce:	tloušťka vrstvy	tepelná vodivost $\lambda_{u}$ (viz Tab.2)
krokve	-	-
dřevěné palubky	18 mm	0,180
samolepící asfaltový pás	3 mm	0,210
TOPDEK 022 PIR	100 mm	0,022
samolepící asfaltový pás	3 mm	0,210
kontralatě	-	-
latě + krytina	-	-



Výpočet tepelného odporu  $R$ :

$$R = \sum ( d / \lambda_{u} ) = 0,018 / 0,18 + 0,003 / 0,21 + 0,100 / 0,022 + 0,003 / 0,21$$

$$R = 4,67 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$ :

$$U = ( 1 / ( R_{si} + R + R_{se} ) ) + \Delta U = ( 1 / ( 0,10 + 4,67 + 0,10 ) ) + 0,032$$

$$U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vyhodnocení:

$$U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K} = U_N = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$  navržené konstrukce vyhovuje požadavku ČSN 73 0540-2 na šikmou střechu rodinného domu.

## 2.2 Nejnižší vnitřní povrchová teplota

V zimním období dochází vlivem velkého rozdílu teploty vzduchu uvnitř budov a v exteriéru k prochlazování obvodových konstrukcí domu. Míra jejich ochlazení a tím pádem i teplota jejich vnitřního povrchu závisí na jejich tepelněizolačních vlastnostech (viz kap. 2.1). Kvalitně izolovaná stěna bude mít v zimním období vnitřní povrch teplejší než stěna s nízkými tepelněizolačními vlastnostmi (vysokou hodnotou součinitele prostupu tepla  $U$ ).

Sledování úrovně vnitřní povrchové teploty navrhovaných obvodových konstrukcí (zejména obvodových stěn a střech objektů) v zimním období patří mezi nejdůležitější úkoly projektanta při návrhu domu.

Klesne-li v zimě vnitřní povrchová teplota obvodové konstrukce pod určitou úroveň, hrozí riziko kondenzace vodní páry obsažené ve vnitřním vzduchu nebo růst plísní na vnitřním povrchu konstrukcí. Vlhké prostředí je pro růst plísní ideální živnou půdou (plísňe rostou už při 80% relativní vlhkosti vnitřního povrchu konstrukce). Plísňe na vnitřním povrchu konstrukcí jsou nepřipustné, neboť mohou nepříznivě ovlivnit zdraví lidí, kteří se ve vnitřním prostoru nachází.

Nejčastěji můžeme plísňe a kondenzaci vodních par sledovat v rozích a koutech místností, v připojovacích spárách okenních výplní, pod parapety, v místech nadpraží oken a dveří, v místech uložení stropních nosníků, v místech vyložení balkonové konzoly, v místech osazení roštů sádkartonového podhledu apod. Jedná se tedy o tzv. tepelné mosty, což jsou obecně místa konstrukcí s nižší úrovní tepelněizolačních schopností. Tepelnými mosty dochází k vyššímu tepelnému toku, s čímž souvisí nejen zvýšená tepelná ztráta objektu v těchto místech, ale také snížení vnitřní povrchové teploty konstrukce.

K hledání tepelných mostů a k odhalování příčin kondenzace vodních par a růstu plísní se využívá u hotových staveb snímkování termovizní kamerou z interiéru a exteriéru. Po vyhodnocení termovizních snímků jsou většinou konstrukční detaily s tepelněvlhkostními poruchami posouzeny také pomocí výpočtového modelu 2D nebo 3D teplotního pole, pomocí kterého je také nalezen nejvhodnější způsob sjednání nápravy. Posuzování pomocí výpočtových modelů se provádí také při zpracování projektové dokumentace novostaveb nebo rekonstrukcí domů.

### 2.2.1 Požadavky

Požadavek na vnitřní povrchovou teplotu konstrukce pro vyloučení rizika růstu plísní je nutné splnit u všech obvodových konstrukcí s výjimkou výplní otvorů a konstrukcí s kovovými nebo skleněnými povrchy. Pro konstrukce s kovovými nebo skleněnými povrchy se posouzením vylučuje riziko orosování. Pro výplně otvorů se v případě vyloučení rizika orosování jedná pouze o doporučení, nikoliv o požadavek.

Posouzení rizika růstu plísní nebo orosování se provádí pomocí hodnoty teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  a pro stavební konstrukce (s výjimkou výplní otvorů) a styky konstrukcí je nutno splnit následující podmínku:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$$

kde

$f_{Rsi,N}$  je požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu pro riziko růstu plísní, případně pro riziko orosování.

Stavební konstrukce v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu vyšší než 60% nemusí výše uvedenou podmínku splňovat, pokud je zajištěno vyloučení rizika růstu plísní jiným způsobem. Účinnost, nezávadnost a dlouhodobost jiného způsobu vyloučení plísní je nutno doložit například podle ČSN 72 4310 či jiným dostačujícím způsobem. Zároveň musí být buď vyloučeno riziko orosování, nebo musí být zajištěna bezchybná funkce konstrukce při povrchové kondenzaci a vyloučeno nepříznivé působení kondenzátu na navazující konstrukce (např. zajištění odvodu kondenzátu).

Požadovaná hodnota teplotního faktoru  $f_{Rsi,N}$  závisí na návrhové teplotě vnitřního vzduchu, návrhové relativní vlhkosti vnitřního vzduchu a na návrhové teplotě vzduchu v exteriéru. Stanovit tyto parametry (tzv. okrajové podmínky) nám pomáhá norma ČSN 73 0540-3, kde jsou uvedeny návrhové parametry vnitřního vzduchu pro většinu vnitřních prostředí v budovách podle způsobu jejich využití a je zde také uveden návod jak stanovit návrhové parametry vnějšího prostředí pro lokalitu stavby. Dále je pro stanovení požadované hodnoty  $f_{Rsi,N}$  důležité vědět, zda bude objekt větrán přirozeně nebo pomocí vzduchotechniky a stanovit kritickou povrchovou vlhkost  $\varphi_{si,cr}$ . Pro riziko růstu plísní  $\varphi_{si,cr} = 80\%$ , pro riziko orosování  $\varphi_{si,cr} = 100\%$ .

Detailní postup pro stanovení požadované hodnoty  $f_{Rsi,N}$  překračuje rozsah této publikace a čtenář jej může najít v normě ČSN 73 0540-2.



V následující tabulce jsou uvedeny příklady požadovaných hodnot  $f_{Rsi,N}$  pro nejběžnější vnitřní prostředí budov (s přirozeným větráním) a pro různé lokality ČR dle nadmořské výšky. Hodnoty  $f_{Rsi,N}$  jsou stanoveny pro vyloučení rizika růstu plísní ( $\varphi_{si,cr} = 80\%$ ).

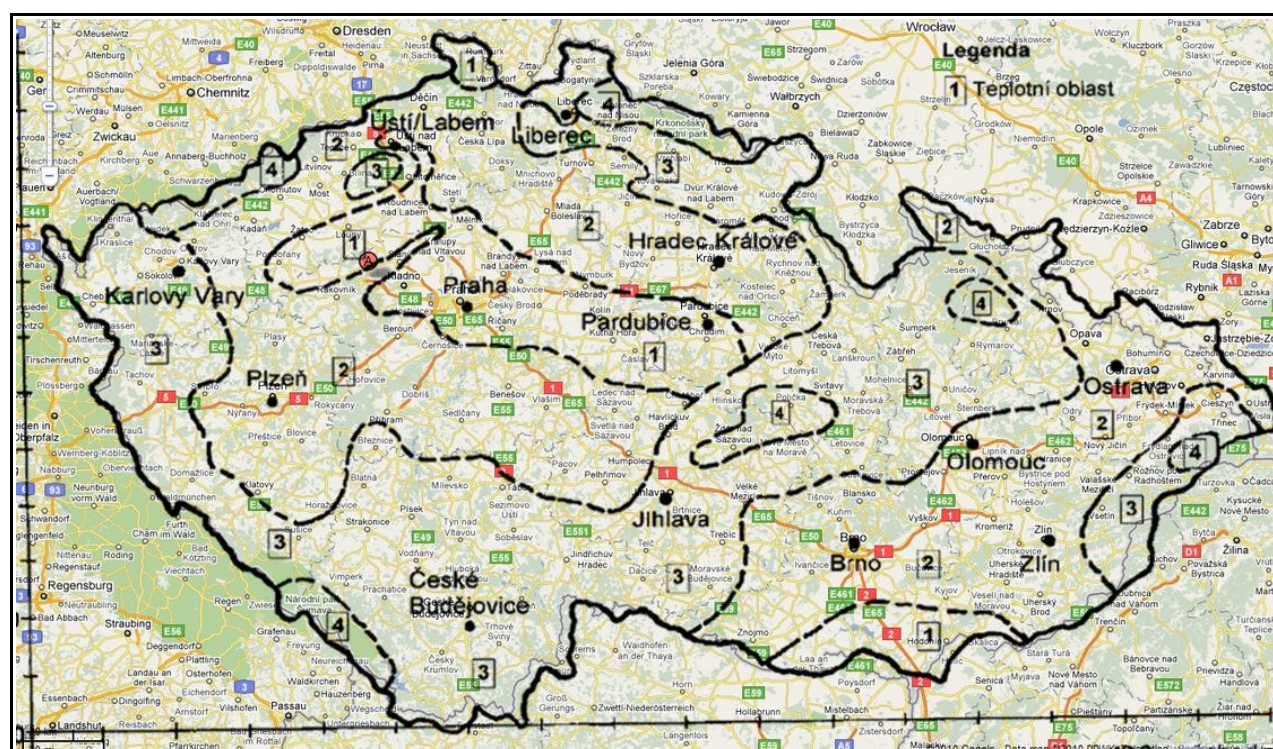
Tab. 4 – Požadované hodnoty  $f_{Rsi,N}$  pro vybrané druhy vnitřních prostředí (riziko růstu plísní)

Druh vnitřního prostředí	Návrhová vnitřní teplota $\theta_{ai}$ [°C] <sup>1)</sup>	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i$ [%]	Požadovaná hodnota teplotního faktoru $f_{Rsi,N}$ v závislosti na návrhové teplotě venkovního prostředí v zimním období $\theta_e$ <sup>2)</sup>			
			$\theta_e = -13^\circ\text{C}$ 240 m n.m. (1.oblast)	$\theta_e = -15^\circ\text{C}$ 320 m n.m. (2.oblast)	$\theta_e = -17^\circ\text{C}$ 540 m n.m. (3.oblast)	$\theta_e = -20^\circ\text{C}$ 820 m n.m. (4.oblast)
Obývací místnosti (obývací pokoje, ložnice, jídelny, pracovní, dětské pokoje)	20,6	50	0,751	0,747	0,760	0,778
Kanceláře, čekárny, zasedací místnosti, jídelny	20,6	50	0,751	0,747	0,760	0,778
Učebny, kreslírnny, rýsovnny, kabinetny, laboratoře, jídelny	20,6	55 <sup>3)</sup>	0,797	0,792	0,803	0,817
Učební dílny	18,6	55 <sup>3)</sup>	0,788	0,783	0,795	0,811
Tělocvičny	15,6	70	0,904	0,895	0,902	0,910
Šatny u tělocvičen	20,6	50	0,751	0,747	0,760	0,778
Mateřské školy – učebny, herny, lehárny	22,6	50	0,762	0,757	0,769	0,785
Ordinace lékařů	24,6	50	0,771	0,765	0,777	0,792
Nemocniční pokoje	22,6	55 <sup>3)</sup>	0,806	0,800	0,810	0,823
Prodejny	20,6	50	0,751	0,747	0,760	0,778
Pokoje pro hosty v hotelech	20,6	50	0,751	0,747	0,760	0,778

<sup>1)</sup> hodnoty  $\theta_{ai}$  jsou stanoveny podle vzorce  $\theta_{ai} = \theta_i + \Delta\theta_{ai}$ , kde přírážka na vyrovnání rozdílu mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch  $\Delta\theta_{ai} = 0,6^\circ\text{C}$  (budovy bytové nebo občanské výstavby realizované po roce 1995 vytápěné radiátory ústředního topení). V hodnotě  $\theta_{ai}$  není započtena přírážka  $\theta_{ai,h}$  kterou je nutno započítat pro vytápěné prostory s výškou nad 5,0 m nad podlahou.

<sup>2)</sup> hodnota  $\theta_e$  odpovídá uvedené nadmořské výšce a teplotní oblasti dle Obr. 1. Pro konkrétní lokalitu je nutná návrhová teplota venkovního prostředí v zimním období  $\theta_e$  vždy stanovit postupem dle ČSN 73 0540-3 na základě přesné nadmořské výšky místa stavby.

<sup>3)</sup> pro prostory s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i = 55\%$  je hodnota  $f_{Rsi,N}$  stanovena na straně bezpečnosti. Dle ČSN 73 0540-2 je možno pro tyto prostory s přirozeným větráním stanovit hodnotu  $f_{Rsi,N}$  na základě  $\varphi_i = 50\%$ .



Obr. 1 - Teplotní oblasti ČR

## 2.2.2 Výpočet

Hodnocení konstrukcí z hlediska vnitřní povrchové teploty pomocí teplotního faktoru bylo zavedeno do praxe v roce 2007. Tento způsob hodnocení je výhodný zejména z toho důvodu, že vypočtená výsledná hodnota  $f_{Rsi}$  je stálou vlastností konstrukce nebo konstrukčního detailu bez ohledu na to, jaké jsou parametry vnitřního a vnějšího prostředí. Konstrukce a konstrukční řešení detailů je proto možné mezi sebou přímo porovnávat. Mimo to je neměnné hodnoty  $f_{Rsi}$  využíváno při hodnocení termovizních snímků (viz kap. 6.1.).

Teplotní faktor vnitřního povrchu konstrukce  $f_{Rsi}$  vypočteme podle následujících vzorců:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad [-] \quad \text{nebo} \quad f_{Rsi} = 1 - U_x \cdot R_{si} \quad [-]$$

kde

$U_x$  je lokální součinitel prostupu tepla v místě  $x$  vnitřního povrchu konstrukce ve  $W/m^2K$

$R_{si}$  je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně v  $m^2K/W$

pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{si} = 0,25$

$\theta_{ai}$  je návrhová vnitřní teplota podle ČSN 73 0540-3 ve  $^{\circ}C$

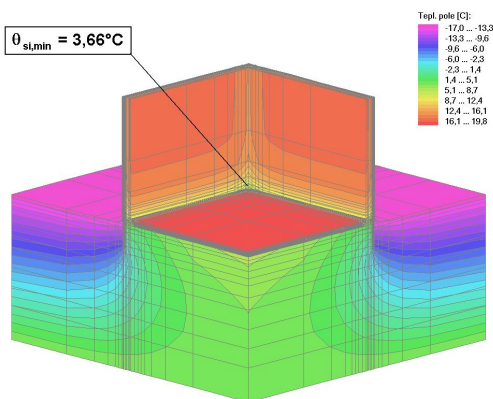
$\theta_e$  je návrhová teplota venkovního prostředí v zimním období podle ČSN 73 0540-3 ve  $^{\circ}C$

$\theta_{si}$  je nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce ve  $^{\circ}C$ . Tuto hodnotu většinou stanovujeme pomocí výpočetního softwaru, který nám vytvoří model 1D, 2D nebo 3D teplotního pole konstrukčního skladby nebo detailu. Pro plošné konstrukce bez systematických tepelných mostů lze spojením výše uvedených výpočtových vztahů stanovit následující vzorec:

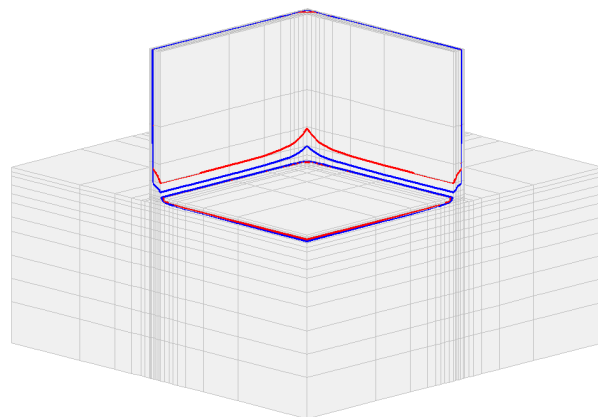
$$\theta_{si} = \theta_{ai} - U_x \cdot R_{si} \quad (\theta_{ai} - \theta_e) \quad [m^2K/W]$$

Pro názornost je na obr. 2 a 3 uveden grafický výstup z výpočetního programu Cube 3D, pomocí kterého byla stanovena nejnižší vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si}$  detailu koutu v bytovém domě. Na obr. 2 je znázorněno teplotní pole pro návrhovou vnitřní ( $\theta_{ai} = 20,6^{\circ}C$ ) a vnější teplotu ( $\theta_e = -17^{\circ}C$ ). Zjištěná nejnižší vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si} = 3,66^{\circ}C$ . Této teplotě odpovídá teplotní faktor  $f_{Rsi} = 0,549$ . Požadovaný teplotní faktor vnitřního povrchu pro riziko růstu plísní  $f_{Rsi,N} = 0,760$  (viz tab. 4), pro riziko orosování  $f_{Rsi,N} = 0,654$ . Podmínka  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$  tedy není splněna – detail je z hlediska vnitřní povrchové teploty nevyhovující a hrozí zde riziko růstu plísní a dokonce také riziko orosování.

Na obr. 3 je znázorněna grafická forma posouzení daného detailu koutu. Linie znázorňují izotermu vnitřní povrchové teploty  $\theta_{si}$ , odpovídající požadovanému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi,N}$  pro riziko růstu plísní (0,760) a izotermu vnitřní povrchové teploty  $\theta_{si}$ , odpovídající požadovanému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi,N}$  pro riziko orosování (0,654). V plochách, které jsou vymezeny izotermami vystupujícími „ven z konstrukce“ hrozí riziko růstu plísní, případně povrchová kondenzace vodní páry.



Obr. 2 - 3D teplotní pole – detail koutu  
(barevně je obr. uveden v příloze P7)



Obr. 3 - Grafické posouzení detailu koutu z hlediska  
vnitřní povrchové teploty  
(barevně je obr. uveden v příloze P7)

Na obr. 4 je uvedena fotografie detailu koutu po realizaci, včetně následků nevhodného řešení detailu. V koutu se v zimním období objevuje masivní kondenzace vodní páry. Rozsah plochy stěny, kde se kondenzace objevila, je větší než plocha, která byla stanovena výpočtem (viz obr. 3). To bylo způsobeno tím, že v bytě byla uživateli výrazně překračována návrhová relativní vlhkost i teplota vzduchu (vlhký provoz, nedostatečné větrání). Souhrnně lze konstatovat, že na obr. 4 jsou názorně vidět možné následky špatného konstrukčního řešení (nedostatečné zateplení detailu koutu) v kombinaci se špatným užíváním bytu (nadměrná vlhkost vnitřního vzduchu – viz kap. 6.3).



Obr. 4 - Kondenzace vodní páry v koutu u podlahy – bytový dům

### Příklad 3

Proveďte posouzení vnější stěny rodinného domu ( $\theta_{ai} = 20,6^\circ\text{C}$ ) z příkladu 1 z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty konstrukce. Posouzení bude provedeno pouze v ploše. Lokalita stavby je město Olomouc (226 m n.m., teplotní oblast 2,  $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ ). Výsledek porovnejte s požadavkem  $f_{Rsi,N}$  podle ČSN 73 0540-2 (viz Tab.4). Součinitel prostupu tepla stěny je dle výsledků příkladu 1 –  $U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty  $\theta_{si}$ :

$$\theta_{si} = \theta_{ai} - U_x \cdot R_{si} \quad (\theta_{ai} - \theta_e) = 20,6 - 0,26 \cdot 0,25 \quad (20,6 - (-15))$$

$$\theta_{si} = 18,29^\circ\text{C}$$

Výpočet teplotního faktoru  $f_{Rsi}$ :

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_{ai} - \theta_e) = (18,29 - (-15)) / (20,6 - (-15))$$

$$f_{Rsi} = 0,935$$

Alternativně lze  $f_{Rsi}$  stanovit takto:

$$f_{Rsi} = 1 - U_x \cdot R_{si} = 1 - 0,26 \cdot 0,25$$

$$f_{Rsi} = 0,935$$

Vyhodnocení:

$$f_{Rsi} = 0,935 > f_{Rsi,N} = 0,747$$

Teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  navržené konstrukce vyhovuje požadavku ČSN 73 0540-2 na vnější obvodovou stěnu rodinného domu, nehrozí tedy riziko růstu plísní. Posouzení však bylo provedeno pouze v ploše. Dále je nutné provést také posouzení konstrukčních detailů (rohů, koutů apod.) pomocí 2D nebo 3D modelu vedení tepla.

## 2.3 Šíření vlhkosti konstrukcí

Obvodové stěny a střechy domů jsou v zimním období vystaveny výraznému rozdílu teplot ze strany interiéru a exteriéru. Při extrémních zimních teplotách se jedná až o  $40^\circ\text{C}$ . S tímto teplotním rozdílem mezi interiérem a exteriérem souvisí také rozdílný obsah vodní páry ve vnitřním a vnějším vzduchu. Obecně je studený vzduch schopen pojmout mnohem menší množství vodní páry než vzduch teplejší. Měrná vlhkost vzduchu v interiéru a exteriéru je tedy výrazně odlišná. Podle základních fyzikálních pravidel dochází k tomu, že molekuly vodní páry se z míst s vyšší koncentrací (interiéru) přemisťují do míst s koncentrací nižší (exteriér). Tomuto vyrovnání vlhkostních poměrů stojí v cestě obvodové konstrukce domu. Šíření molekul vodní páry skrz obvodové konstrukce do exteriéru se odborně nazývá **difuze vodní páry**. Každou obvodovou konstrukci je proto nutné navrhnout tak, aby difuze probíhala bez následků na kvalitě obvodových konstrukcí.

Při nesprávném návrhu (realizaci) obvodové stěny nebo střechy, může v některé části konstrukce dojít k nadměrné kondenzaci vodní páry a hromadění kondenzátu, jehož působením může být konstrukce poškozována. Tato situace zpravidla nastane v případě, kdy navržená konstrukce nerespektuje pravidlo



zvyšující se difuzní propustnosti použitých stavebních materiálů ve směru od interiéru do exteriéru. Například je na stěnu ze strany exteriéru použit difuzně nepropustný obklad (sklo, kov, kámen), nebo ve skladbě ploché střechy s hydroizolací z asfaltových pásů chybí tzv. parozábrana, která by zabráňovala prostupu molekul vodní páry dovnitř konstrukce. V těchto případech poté dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry ve skladbě a životnost těchto konstrukcí je vlivem vody uvnitř konstrukce velmi snížena. Také tepelněizolační schopnosti jsou u takto vlhkých konstrukcí výrazně nižší.

### 2.3.1 Požadavky

Pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce  $M_c$ , v  $\text{kg}/(\text{m}^2)$ , mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, tedy:

$$M_c = 0$$

Tato podmínka je velmi důležitá zejména v částech konstrukcí, kde jsou zabudovány dřevěné prvky. Dřevěné prvky by v konstrukci nikdy neměly být zabudovány v oblasti možné kondenzace vodní páry.

Pro stavební konstrukci, u které kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce neohrozí její požadovanou funkci, se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce  $M_c$ , v  $\text{kg}/(\text{m}^2)$ , tak, aby splňovalo podmínku:

$$M_c \leq M_{c,N}$$

Pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky (zároveň musí být prokázáno že dřevěné prvky neleží v oblasti kondenzace), konstrukci s vnějším tepelněizolačním systémem nebo vnějším obkladem, popř. jinou obvodovou konstrukcí s difuzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, je nižší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2)$$

nebo 3% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než  $100 \text{ kg}/\text{m}^3$ ; pro materiál s objemovou hmotností  $\rho \leq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$  se použije 6% jeho plošné hmotnosti.

Pro ostatní konstrukce je nižší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2)$$

nebo 5% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než  $100 \text{ kg}/\text{m}^3$ ; pro materiál s objemovou hmotností  $\rho \leq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$  se použije 10% jeho plošné hmotnosti.

Kromě výše uvedených požadavků na maximální úroveň zkondenzované vodní páry v konstrukci v průběhu roku je nutno vždy splnit požadavek na roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce v průběhu roku. Konkrétně to znamená, že kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce podle výše uvedených pravidel je možno připustit pouze za podmínky, že v průběhu roku dojde k vypaření tohoto kondenzátu. Bilance tedy bude v průběhu roku tzv. aktivní.

### 2.3.2 Výpočet

Výpočet množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce  $M_c$ , se provádí vždy pomocí výpočetního softwaru v 1D, 2D nebo 3D modelu šíření vlhkosti konstrukcí. Při výpočtovém hodnocení se dává přednost podrobnému výpočtu po měsících, který je uveden v ČSN EN ISO 13788. Výstupem výpočtu je soubor hodnot zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce v jednotlivých ročních měsících. Ve výsledcích kontrolujeme vždy maximální množství kondenzátu a to, zda je bilanční výpočet aktivní (na konci modelového roku nesmí v konstrukci zbývat žádný kondenzát). Obecně lze říci, že u běžných staveb občanské a bytové výstavby dochází v chladných měsících roku ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce a v teplých měsících naopak k vysychání.

Tyto typy výpočtů vzhledem ke své složitosti musí vždy provádět specialisté v oboru tepelná technika. Neodborným provedením výpočtu by mohly být stanoveny výsledky s velkou chybou.

## 2.4 Vzduchotěsnost

Význam vzduchotěsnosti obálky budovy je ve stavební praxi v ČR stále velmi podceňován. Bohužel je však nedostatečná vzduchotěsnost jednou z nejčastějších příčin tepelnotechnických problémů staveb.

Z hlediska tepelněvlhkostních projevů je vzduchotěsnost obálky objektu velmi úzce spjata s problematikou nízké vnitřní povrchové teploty. Pokud dochází k růstu plísní a kondenzaci vodních par také v místech, které na první pohled nelze označit za tzv. tepelné mosty, je velmi pravděpodobné, že na snížení vnitřní povrchové teploty se podílí lokální netěsnosti ve vzduchotěsníci vrstvě. Typickým příkladem jsou detaily napojení šikmé střechy na obvodové stěny (u pozednice), připojovací spáry výplní otvorů, místa prostupů přes hlavní vzduchotěsníci vrstvu (elektroinstalace, komíny, odvětrání kanalizace apod.). Nejrizikovější z hlediska vzduchotěsnosti jsou obvodové konstrukce, kde hlavní vzduchotěsníci vrstvu tvoří PE fólie (parozábrana). Jedná se tedy zejména o šikmé střechy se zateplením mezi krokvy, zateplené stropy tvořené SDK podhledy, obvodové stěny v objektech řešených jako dřevostavby apod.

Typickým projevem nevzduchotěsné obálky jsou nejen plísně a kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu. Velmi často dochází vlivem nevzduchotěsnosti ke kondenzaci vodních par také uvnitř skladby konstrukce. Tato kondenzace uvnitř konstrukce není způsobená difúzí, tak jak je to popisováno v předešlé kapitole a nelze ji výpočtově odhalit. Vodní pára se v tomto případě dovnitř konstrukcí dostává z interiéru prouděním teplého a vlhkého vzduchu netěsnostmi (nejčastěji v parozábraně). Nahromaděný kondenzát poté z konstrukcí často vytéká do interiéru a problém bývá v první fázi chybně označen jako zatékání střešní krytinou.

Posledním zásadním projevem nevzduchotěsnosti je zvýšená tepelná ztráta objektu. To souvisí s navýšením nákladů na topení. Nežádá se možné se setkat s objekty, kde i na maximální výkon topného systému není možné např. podkroví vytopit nad 18°C.

Vzduchotěsnost konstrukcí není možné hodnotit v rámci projektu výpočtově. Při projektování je však nutné na dostatečnou vzduchotěsnost obvodových konstrukcí pamatovat a navrhnout do skladeb takové materiály a prvky, které nám ji bezpečně zajistí. Velký důraz na vzduchotěsnost je poté nutné klást v případě projektování domů s velmi nízkou spotřebou energie na vytápění (pasivní a nízkoenergetické domy).

Pro prokazatelné odhalení nevzduchotěsných míst v obálce objektu je nutné použít zařízení BLOWER DOOR TEST v kombinaci s použitím anemometru nebo termovizní kamery (viz kap. 6.2).

### 2.4.1 Požadavky

Na vzduchotěsnost je v ČSN 73 0540-2 pamatováno následujícím ustanovením:

*V obvodových konstrukcích se nepřipouští netěsnosti a neutěsněné spáry, kromě funkčních spár výplní otvorů a funkčních spár lehkých obvodových pláštů. Všechna napojení konstrukcí mezi sebou musí být provedena trvale vzduchotěsně podle dosažitelného stavu techniky.*

*Požadavek se vztahuje zejména na spáry v osazení výplní otvorů, páry mezi panelovými dílci, spáry a netěsnosti ve skládaných konstrukcích (montovaných suchým procesem). U skládaných konstrukcí se požadavek obvykle zajišťuje souvislou vzduchotěsníci materiálou vrstvou u jejího vnitřního líce. Tepelněizolační vrstva konstrukce musí být účinně chráněna proti působení náporu větru.*

### 2.4.2 Hodnocení

Reálně není možné postavit dům, který by byl naprosto vzduchotěsný. Proto existují metody jak úroveň vzduchotěsnosti realizovaných staveb hodnotit. Nejběžněji se jedná o měření celkové průvzdušnosti obálky budovy  $n_{50}$ . K měření se používá zařízení BLOWER DOOR TEST (viz kap. 6.2).

Celková průvzdušnost obálky budovy nebo její ucelené části se ověřuje pomocí celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu 50 Pa, v  $h^{-1}$ , stanovené experimentálně podle ČSN EN 13 829. Doporučuje se splnění podmínky:

$$n_{50} \leq n_{50,N}$$

kde  $n_{50,N}$  je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, v  $h^{-1}$ , která se stanoví podle následující tabulky 5.

Tab. 5 – Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50,N}$ 

Větrání v budově	Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50}$ [ $h^{-1}$ ]	
	Úroveň I	Úroveň II
Přirozené nebo kombinované	4,5	3,0
Nucené	1,5	1,2
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0	0,8
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní budovy)	0,6	0,4

Hodnoty na úrovni I se doporučuje splnit vždy, hodnoty na úrovni II se doporučuje splnit přednostně.

Obecně se doporučuje dosahovat měřením BLOWER DOOR TEST co nejnižších hodnot  $n_{50}$ , protože netěsnou obálkou budovy může dojít k poškození nosných konstrukcí stavby (např. hniloba krovu) vlivem šíření tepla a vodní páry skrz netěsnosti (např. skrz netěsnou parozábranu z PE fólie ve skladbě šikmé střechy).

Splnění doporučených hodnot dle tab. 5 nezajišťuje vyloučení významných lokálních nedostatků v konstrukcích. Proto se vždy při měření vzduchotěsnosti BLOWER DOOR TESTEM provádí hledání a identifikace netěsných míst (viz kap. 6.2).

## 2.5 Ostatní tepelnětechnické požadavky

Mezi ostatní tepelnětechnické požadavky, které i přes svoji důležitost často stojí na okraji zájmů projektantů patří hodnocení tepelných mostů (lineární a bodový činitel prostupu tepla), tepelná stabilita místnosti a hodnocení poklesu dotykové teploty podlahy.

### 2.5.1 Tepelné mosty - Lineární a bodový činitel prostupu tepla

Některé části obvodových konstrukcí vykazují vyšší tepelné ztráty než zbytek konstrukce. Jedná se o místa s oslabenou tepelnou izolací, místa styku různých částí stavby nebo místa s prostupujícími prvky (ocelové konzoly, ocelové kotvící prvky apod.). Tyto části obvodových konstrukcí se nazývají tepelné mosty.

Tepelné mosty můžeme z hlediska jejich četnosti výskytu rozdělit jako systematické nebo lokální. Z hlediska jejich tvaru je možno rozlišit tepelné mosty liniové nebo bodové.

Tepelný most může být způsoben chybou v projektu, chybnou realizací anebo mohou být systematické tepelné mosty typickou vlastností konstrukce. Klasickým příkladem je skladba šikmé střechy se zateplením mezi krokve, kdy dřevěné krokve tvoří systematický liniový tepelný most.

S tepelnými mosty souvisí nejen snížení vnitřní povrchové teploty konstrukce (viz kap. 2.2.), ale také zvýšená tepelná ztráta objektu. Aby tepelnými mosty, které v konstrukcích vzniknou (i přes snahu projektantů je co nejvíce eliminovat), nedocházelo k nadměrným tepelným ztrátám, existují požadavky na maximální hodnotu lineárního a bodového činitele prostupu tepla. Pomocí těchto činitelů lze tepelné mosty mezi sebou porovnávat z hlediska velikosti tepelné ztráty. Zároveň jsou v ČSN 73 0540-2 stanoveny maximální přípustné hodnoty, které je nutno dodržet. Výpočet se provádí pomocí výpočetního softwaru 2D nebo 3D teplotního pole a provádí jej vždy specialista na obor tepelná technika.

### 2.5.2 Tepelná stabilita místnosti

Tepelná stabilita místností se hodnotí zvlášť pro zimní a letní období. Pro zimní období se hodnotí maximální pokles výsledné teploty v místnosti po odstavení otopného systému (většinou na dobu chladnutí 8 h). Pro letní období se hodnotí maximální vzestup teploty v místnosti (přehřívání vnitřních prostor).

Jelikož provoz moderních otopných zdrojů a soustav není spojen s výrazným přerušováním dodávky energie do objektu dostává se v současnosti požadavek na zimní stabilitu do ústraní (zejména u obytných staveb). Zatímco řešení tepelné stability v letním období je při současných stavebních trendech velmi aktuální. Proto problematiku tepelné stability v letním období rozebereme podrobněji.

V minulosti byly domy stavěny pouze z tradičních těžkých materiálů jako je kámen nebo cihly. Tyto materiály se vyznačují velkou schopností akumulace energie a nízkými tepelněizolačními vlastnostmi. Zároveň byly v obvodových stěnách domů jen malé okenní výplně. Díky těmto vlastnostem dokáží staré domy v období vysokých venkovních teplot udržet uvnitř příjemné klima. Díky tepelné setrvačnosti obvodových stěn trvá

velmi dlouhou dobu (např. celý týden) než stavba zareaguje na nárůst teploty venkovního vzduchu. Tomuto faktu velmi napomáhají z dnešního pohledu nedostatečné tepelněizolační vlastnosti stěn a nízké solární zisky malými okny.

Stavby realizované v současné době jsou z hlediska přehřívání problematické, protože jejich stavební řešení je naprosto odlišné. Nejvýraznějším trendem současného stavebnictví je zvětšování prosklených ploch a používání velmi lehkých materiálů s vysokou schopností tepelně izolovat (např. realizace obytných podkroví nebo domů na bázi dřevostaveb). S trendem vnějšího zateplování stěn dochází k tomu, že ani masivní těžké stěny (např. železobetonové) nedokážou zamezit vnitřnímu přehřívání interiéru tak, jako nezateplené stěny starých domů. Tepelně izolovaná těžká stěna totiž není schopna se ochladit (regenerovat) při poklesu teploty vzduchu v noční době.

Z těchto skutečností lze vyvodit možnosti jak proti letnímu přehřívání interiéru u současných staveb bojovat. Často se setkáváme se stínícími prvky oken jako jsou žaluzie nebo rolety (stínění na vnější straně oken je vždy účinnější než stínění z interiéru). Instalují se okenní výplně se sníženou propustností solární energie, bohužel často také za cenu snížené propustnosti světla. U domů se montují clonící markýzy, instalují se systémy nuceného větrání domu v noční době, v krajním případě také klimatizační jednotky.

Instalovanou klimatizaci v obytných domech je v našem klimatickém pásmu nutné chápat spíše jako důkaz o špatném návrhu a konceptu stavby než jako výhodu. Je nutné si uvědomit, že provoz klimatizace bude stavbu zatěžovat dalšími provozními náklady, které by při správném návrhu domu nemusely být vynaloženy.

### 2.5.3 Pokles dotykové teploty podlahy

Jedná se o požadavek, kterým se hodnotí nášlapné vrstvy podlah z hlediska jejich působení v přímém kontaktu s lidským tělem (chodidlem) za nejméně příznivých teplotních podmínek.

Podle tohoto požadavku se podlahy třídí do čtyř kategorií: I. Velmi teplé, II. Teplé, III. Méně teplé a IV. Studené. Podle účelu místnosti jsou stanoveny požadované a doporučené kategorie podlah v ČSN 730 540-2. Hodnocení se provádí pomocí výpočetního softwaru.

Tento 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.



## 3 Energetika staveb

Stavby pro plnění svých základních funkcí spotřebovávají energii. Obor energetika staveb se zabývá problematikou jejího efektivního využití. A to jak po stránce vhodného návrhu konstrukcí budov, tak po stránce návrhu zdrojů energie.

Podle statistických údajů EU činil v roce 2012 podíl budov na celkové spotřebě energie úrovně 40%. Neustále rostoucí počet nových budov má za následek postupné zvyšování podílu jejich spotřeby. Ceny energií pro koncového odběratele se stále zvyšují. Tím rostou i nároky na efektivitu (účinnost) nových energetických zdrojů v budovách (kotle, tepelná čerpadla, VZT, chladicí systémy apod.) a nároky na tepelněizolační vlastnosti budov. To platí pro novostavby i pro rekonstrukce.

Trend snižování spotřeby energií je v posledních letech velmi výrazně podporován ze strany EU. Děje se tomu tak za finanční podpory řady dotačních titulů, které jsou využívány na zateplování budov a výměnu zdrojů energie. Přínosem je nejen pozitivní dopad na ekonomickou situaci uživatele objektu (nebude muset za energie tolik platit), ale také na životní prostředí (nebude nutné vyrábět tolik energie, nebude vypouštěno tolik škodlivých emisí do ovzduší).

Energie je v budovách spotřebovávána na následující účely:

- úprava parametrů vnitřního prostředí (vytápění, větrání, chlazení)
- příprava teplé vody
- ostatní účely (osvětlení, spotřebiče)

### 3.1 Spotřeba energie ve stavbách

#### 3.1.1 Spotřeba energie na úpravu parametrů vnitřního prostředí

Aby se člověk v budovách cítil komfortně je uvnitř téměř neustále upravováno jejich vnitřní prostředí. V zimě je to vytápěním, v létě chlazením a celoročně větráním. Největší množství energie je obvykle spotřebováváno na krytí tepelné ztráty v zimě, tj. na vytápění.

**Tepelná ztráta objektu** [kW] je okamžitá hodnota tepelné energie (přesněji tepelný tok), která z domu uniká prostupem tepla, zářením skrz průsvitné konstrukce a větráním. Tepelná ztráta se stanovuje vždy na normou stanovené podmínky. Pro interiér je to u většiny občanských staveb 20°C. Pro exteriér je ČR rozdělena na 3 teplotní oblasti, ke kterým jsou přiřazeny extrémní návrhové teploty (-12°C; -15°C; -18°C). Na tuto vypočtenou tepelnou ztrátu se pak dimenzují tepelné zdroje v budovách.

Z hodnoty tepelné ztráty objektu však nezískáme přesnou představu o energetické náročnosti vytápění hodnocené budovy. Proto jsou zavedeny pojmy **potřeba** a **spotřeba energie** [kWh nebo GJ]:

Roční **potřeba energie** na vytápění je množství tepelné energie, kterou je potřeba do domu dodat tak, aby v něm byla udržována požadovaná teplota. Tato hodnota je jednoznačně dána architektonickým řešením a stavebním provedením. Vychází tedy čistě z celkové tepelné ztráty objektu a tepelných zisků. Potřeba tepla není ovlivněna účinností systému vytápění nebo větrání.

Roční **spotřeba energie** na vytápění představuje množství reálně dodané energie do objektu pro pokrytí tepelné ztráty. Tato spotřeba je ovlivněna jednak primárně stavbou (tepelnou ztrátou) a pak také sekundárně použitým systémem vytápění (jeho účinností).

Pokud do objektu instalujeme zdroj o nízké účinnosti (např. starší kotel na dřevo), budeme mít ve stejném objektu násobně vyšší spotřebu energie, než když instalujeme zdroj s vysokou účinností např. tepelné čerpadlo. Potřeba energie však bude pro tento objekt v obou případech stejná.

##### 3.1.1.1 Vytápění

Jak je z výše uvedeného patrné, má volba zdroje energie a topného systému výrazný vliv na konečnou spotřebu energie v objektu.

Z pohledu sdílení energie otopných ploch s vytápěným prostorem rozdělujeme systémy vytápění na 2 skupiny: konvekční a sálavé.

U **konvekčního způsobu vytápění** se v první fázi ohřeje vzduch a od něj pak okolní konstrukce. U **sálavého způsobu** vytápění dochází rovnou k osálení okolních ploch. U sálavého systému vytápění je teplota ploch vyšší než je teplota vzduchu v místnosti.

Konvekční způsob vytápění se využívá u většiny občanských budov. Nejčastěji ve formě teplovodní otopné soustavy s otopnými tělesy. Sálavého způsobu vytápění je využíváno pro vytápění větších prostor, jako jsou

průmyslové haly, sportovní haly, tělocvičny apod. Nejčastěji se můžeme se sálavým vytápěním setkat v podobě plynových infrazářičů.

Zdroje tepelné energie lze dělit podle různých hledisek. My se na ně podíváme z pohledu energetické náročnosti (tj. z hlediska jejich účinnosti).

Energeticky nejvýhodnějším zdrojem energie je **tepelné čerpadlo**. Tepelné čerpadlo odebírá teplo z vody, vzduchu nebo země, převádí ho na vyšší teplotní hladinu a předává je topnému médiu uvnitř objektu. Tím může být voda v topném systému nebo přímo vnitřní vzduch. Podle zdroje energie a použitého topného média pak mluvíme o systémech země/voda, vzduch/voda, voda/voda a vzduch/vzduch. Topný faktor tepelného čerpadla (zjednodušeně řečeno 'účinnost') se obvykle pohybuje nad hodnotou 3 (což odpovídá účinnosti 300%), takže spotřeba energie na vytápění je 3x menší než potřeba.

Protože tepelné čerpadlo nevyrábí topnou vodu o tak vysoké teplotě jako standardní zdroje energie, je nutné je kombinovat s nízkoteplotními otopnými soustavami (nejčastěji s podlahovým vytápěním). Nevýhodou tepelných čerpadel jsou vysoké pořizovací náklady.

Dalším možným zdrojem energie v budově je klasické **elektrické vytápění**. U elektrického vytápění v jsou v současnosti nejrozšířenější 3 druhy – elektrické přímotopy, elektrické topné rohože a elektrické kotle s teplovodní otopnou soustavou. Účinnost tohoto vytápění se pohybuje kolem 99%.

**Elektrické přímotopy** jsou otopná tělesa, která v sobě mají integrovanou elektrickou spirálu a tudíž není potřeba jejich napojení na další zdroj energie. Elektrické přímotopy mohou být konvektorové (vydávají teplo pouze v případě, že do něj přichází elektrický proud) nebo akumulární (obsahuje akumulární vložku, která dokáže teplo uvolňovat i v době, kdy do otopného tělesa nepřichází elektrický proud).

**Elektrické topné rohože** jsou elektrické vodiče uspořádané do pravidelné sítě, zalité do konstrukce podlahy (někdy i do stěny). Pokud proudí vodičem elektrický proud, zahřívají se vrstvy umístěné nad topnou rohoží a tím dochází k prohřívání interiéru. Při použití tohoto typu vytápění je nutné provést důkladnou tepelnou izolaci vrstev pod topnou rohoží, aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám mimo vytápěnou místnost.

**Elektrické kotle** jsou centrální zdroje energie, takže k vytápění objektů je na ně vždy napojena otopná teplovodní soustava, zajišťující distribuci tepla po objektu.



Obr. 5 - Tepelné čerpadlo



Obr. 6 - Elektrický přímotop



Obr. 7 - Elektrická akumulární kamna

**Kondenzační plynový kotel** je další, z energetického hlediska velmi výhodný, zdroj energie. Někteří výrobci u těchto kotlů uvádí účinnost vyšší než 100%, reálná účinnost se pohybuje kolem 98%. Kondenzační kotel obsahuje výměník, kde dochází k předehřevu vratné vody teplem získaným kondenzací vodní páry ze spalin, které vznikly při hoření zemního plynu. Ke kondenzačnímu kotli je vždy připojena teplovodní otopná soustava.

**Nízkoteplotní plynový kotel** je v současných českých poměrech standardním zdrojem energie. Dosahuje účinnosti kolem 93%. Je vhodný zejména pro otopné soustavy, pracující s většími teplotními spády (větší rozdíl mezi teplotou vody vycházející z zdroje a teplotou vody vracující se do zdroje).

Další skupinu zdrojů energie tvoří **kotle na tuhá paliva** a na **biomasu**. Tuhými palivy jsou koks, černé uhlí a hnědé uhlí. Biomasou se rozumí kusové dřevo, dřevní štěpka, peletky, dřevěné brikety, obilí apod. Tyto zdroje energie dosahují účinnosti kolem 80%. Moderní kotle obsahují zásobník na palivo s automatickým podavačem, takže obsluha těchto zdrojů je velmi komfortní.

Samostatnou kapitolou je pak **centrální zásobení budov (CZT)**. K výrobě tepla v tomto případě dochází buď v teplárnách (kdy se teplo vyrábí pro větší územní celek, například město) nebo v centrálních kotelnách (kde se teplo vyrábí jen pro menší území, například sídliště). Protože jsou zde instalovány velké zdroje energie (např. kotle s velkým výkonem), dosahuje se vyšší účinnosti výroby tepla než u menších zdrojů. Protože zdroj energie není přímo v zásobované budově, dochází během distribuce tepla do zásobovaných objektů k energetickým ztrátám a to jak většinou nedostatečně izolovanými teplovody, tak i různými výměníky (např. výměník mezi okruhem od centrálního zdroje a objektovým okruhem).



Obr. 8 - Plynové kotle



Obr. 9 - Kotel na tuhá paliva



Obr. 10 - Předávací stanice CZT

V následujícím grafu je uvedeno porovnání nákladů na vytápění rodinného domu s tepelnou ztrátou 7 kW pro různé druhy paliv. Z grafu je patrné, že nejlevnějším zdrojem tepla pro vytápění jsou tuhá paliva (uhlí a biomasa), nejdražším zdrojem je elektrická energie. Z ekologického pohledu lze říci, že nejméně ekologickým zdrojem je uhlí, následováno elektrickou energií. Zemní plyn, dřevěné pelety a kusové dřevo představují v dnešní době nejvíce ekologická paliva.

Elektrická energie je neekologická z toho důvodu, že k její výrobě je v našich podmínkách využíváno zejména uhlí v tepelných elektrárnách. V současnosti však podíl uhlí na výrobě elektrické energie klesá a zvyšuje se podíl výroby elektrické energie v jaderných elektrárnách. To bude mít do budoucna pozitivní vliv na ekologické dopady výroby elektrické energie z pohledu emisní zátěže.

Hnědé uhlí	7 213
Černé uhlí	8 075
Štěpka	8 356
Obilí	8 672
Dřevo	9 355
Tepelné čerpadlo	10 423
Dřevěné pelety	10 795
Zemní plyn (kondenzační)	12 086
Zemní plyn (nízkoteplotní)	14 287
Elektřina akumulční kamna	21 201
Propan	23 010
Elektřina přímotop	24 581

Cena za vytápění / Kč

Stále častěji jsou v budovách navrhovány tzv. **obnovitelné zdroje energie** (zkratka je OZE). Tím jsou zařízení, získávající energii ze slunce, vody, větru (vzduchu) nebo země. Mezi OZE patří již dříve zmíněná tepelná čerpadla. Pro svůj provoz však vždy potřebují dodávku elektrické energie nebo zemního plynu, takže se zde o ryzím OZE mluvit nedá.

Naproti tomu typickými představiteli OZE jsou **fototermické** a **fotovoltaické kolektory** nebo **větrné turbíny**. **Fototermické kolektory** (v praxi označované spíše jako **solární kolektory**) přeměňují dopadající sluneční

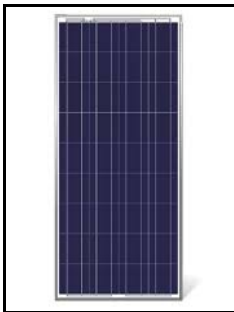


záření na tepelnou energii. Sluneční záření dopadá na absorber kolektoru, který je spojen s trubkovým rozvodem kolektoru. Přenos energie zaručuje kapalné teplotnosné médium, které proudí mezi kolektorem a výměníkem tepla umístěným v akumulaci nádobě. Fototermické kolektory dále dělíme na plošné (deskové) a trubicové (vakuové). Tyto kolektory se využívají k ohřevu teplé vody a jako doplňkový zdroj vytápění.

**Fotovoltaické kolektory** (v praxi označované spíše **fotovoltaické panely**) přeměňují dopadající sluneční záření na elektrickou energii. Fotovoltaické panely jsou složeny k fotovoltaických článků, které se dnes nejčastěji vyrábějí z monokrystalického křemíku (účinnost je cca 14% z celkového dopadajícího záření). Množství energie vyrobené jedním panelem závisí na výkonu nejhoršího instalovaného článku. Pokud je tedy jen malá část kolektoru například zastíněná hromosvodem, významně to ovlivní výkon celého fotovoltaického panelu. Tyto kolektory se mohou instalovat na objekty jako zdroj elektrické energie nebo se z nich sestavují fotovoltaické elektrárny instalované na rozsáhlých pozemcích.

V budovách méně využívanými OZE jsou **větrné turbíny**. V dnešní době známe spíše věžové větrné elektrárny, ale i na budovy je možné instalovat menší větrné elektrárny, zajišťující elektrickou energii jen pro daný objekt.

Jak je z výše uvedeného patrné, je problematika vytápění budov velmi rozsáhlá a volbu vhodného systému vytápění pro daný objekt ovlivňuje mnoho faktorů, které by měl mít každý projektant i energetik na paměti.



Obr. 11 - Fotovoltaický kolektor



Obr. 12 - Fototermický kolektor (trubicový)



Obr. 13 - Větrná turbína

#### 3.1.1.2 Chlazení

Dalším způsobem úpravy vnitřního prostředí je **chlazení**. V našich zeměpisných šířkách se potřeba chlazení objevuje pouze v letních měsících. Některé speciální prostory je nutné chladit celoročně (prostory s vysokými tepelnými zisky, např. serverovny).

Chladicí jednotky mohou být ostrovní (tj. přímé chlazení vzduchu v zóně) nebo integrované do vzduchotechnických (VZT) jednotek.

Nejjednodušším způsobem chlazení je osazení kompaktních jednotek přímo do okna nebo obvodové stěny místnosti – jedná se o **kompaktní (okenní) klimatizátory**. Ty mohou být mobilní nebo zabudované v konstrukci. Nevýhodou těchto zařízení je vysoká hlučnost v chlazené místnosti.

Z ostrovních jednotek jsou nejpoužívanější **split systémy** (split = dělený), které využívají princip obráceného tepelného čerpadla. Skládají se z vnitřní a venkovní jednotky. Díky tomu, je provoz těchto jednotek v místnosti bezhlučný, neboť veškerý hluk z kompresoru a ventilátoru zůstává venku. Pokud je potřeba chladit více místností, pak je možné využít **multi-split systém**, kdy je na jednu vnější jednotku napojeno několik jednotek vnitřních. Účinnost těchto systémů se pohybuje v podobných hodnotách jako u tepelných čerpadel při vytápění. Speciálním případem multi-split systému je **VRV systém s proměnným průtokem chladiva**, kdy díky své konstrukci dosahuje až 10x vyšší účinnosti než běžný systém multi-split.

Chlazení pro VZT jednotky může být **přímé** – výparník chladí vzduch nebo **nepřímé** – výparník chladí vodu, která pak chladí vzduch. Poměr mezi chladícím výkonem a příkonem zdroje chladu (COP) se v obou případech pohybuje na 2,5 (účinnost 250%) přičemž energeticky výhodnější je nepřímé chlazení.

Spotřebu energie na chlazení lze ovlivnit provozem v objektu a stavebními opatřeními. Např. omezení tepelných zisků instalací předokenních rolet, speciálních fólií na sklo nebo slunolamů na fasádu objektů. Z provozních opatření je to např. větrání budov v noční době, kdy je exteriérová teplota nižší než interiérová.

### 3.1.1.3 Větrání

Dostatečně větrána musí být téměř každá budova. Důvodem pro větrání budov jsou nejčastěji následující požadavky:

- hygienické požadavky (minimální množství větracího vzduchu pro různé provozy určují hygienické předpisy)
- technologické požadavky (některá zařízení potřebují pro svůj provoz dostatečný přísun vzduchu – např. plynové sporáky)
- požadavky ochrany konstrukcí budovy (s odváděným vzduchem odchází i vodní pára vyprodukovaná provozem v budově, která by při hromadění mohla způsobit růst plísní nebo kondenzaci na vnitřních konstrukcích).

Větrání může být **přirozené** nebo **nucené**.

**Přirozeným větráním** označujeme proudění vzduchu mezi interiérem a exteriérem a to zejména otevřenými okny, šachtami a průduchy v obvodových konstrukcích. Toto proudění je dáno rozdílem teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím.

**Nucené větrání** je výměna vzduchu mezi interiérem a exteriérem za pomoci přídavného zařízení – zpravidla ventilátoru. Nucené větrání dělíme na přetlakové, podtlakové a rovnotlaké. Z energetického hlediska není volba způsobu nuceného větrání důležitá. O volbě způsobu nuceného větrání rozhoduje provoz v budově a hygienické předpisy. Energeticky významným faktorem je však skutečnost, zda je při větrání využito **zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu**. Někdy je tento způsob větrání označován jako větrání s rekuperací podle rekuperačního výměníku, který je v systému vždy osazen. V rekuperátoru (neboli rekuperačním výměníku) dochází k předávání tepla mezi odváděným vzduchem a vzduchem přiváděným. Nejpoužívanější jsou výměníky deskové, rotační, s kapalinovým okruhem a tepelné trubice.

Pro nucené větrání je možné využívat samostatné **ventilátory** nebo **vzduchotechnické jednotky** (VZT jednotky).

**Ventilátory** jsou ostrovní zařízení, umístěné ve větraném prostoru, zpravidla ovládané manuálně nebo s časovačem. Mohou být vybavené čidlem na měření koncentrací sledovaných látek, kdy se při dosažení nastavené koncentrace spustí. Na trh jsou dodávány i ventilátory s rekuperátorem.

**Vzduchotechnické jednotky** jsou centrální zařízení, zpravidla umístěné mimo větraný prostor, většinou sloužící pro větrání větší části budovy současně. Vzduchotechnická jednotka se skládá z několika částí:

- ventilátor
- ohřívač
- chladič
- směšovací komora
- zvlhčovač
- filtr
- rekuperátor

Součástí VZT jednotky je vždy ventilátor, ostatní části mohou chybět. V případě, že VZT jednotka kromě výměny vzduchu zajišťuje i jeho další úpravu, pak můžeme mluvit o **klimatizaci**.

Ze vzduchotechnické jednotky vychází vzduchovody, které upravený vzduch distribuují do větraných místností. Ohřívač může být napojen na otopnou soustavu v objektu nebo může být napájen přímo elektřinou nebo zemním plynem. Využití standardní VZT jednotky pro celý objekt není optimální vzhledem k tomu, že v jednotlivých zónách mohou být rozdílné požadavky na vnitřní prostředí.

Výhodnější je systém **VZT s fancoilly (FCU)**. Tento systém využívá toho, že fancoilové jednotky umístěné v jednotlivých místnostech, přímo smíchávají přiváděný vzduch se vzduchem v místnosti. Centrální VZT jednotka vzduch celoročně upravuje na teplotu v rozmezí 17 až 20°C, v FCU jednotkách je přiváděný vzduch smíchán se vzduchem v místnosti a případně dohříván nebo ochlazován.

V klimatizačních jednotkách je možné vzduch ještě **zvlhčovat** nebo **odvlhčovat** v závislosti na požadovaných parametrech v místnosti (specializované provozy).

### 3.1.2 Spotřeba energie na přípravu teplé vody

Ohřev vody se provádí dvěma způsoby:

- **přímý ohřev** – přeměna energie v zařízení ohřívače (např. plynový nebo elektrický ohřívač)
- **nepřímý ohřev** – bez přeměny energie, pouze předání tepla z teplotné látky ohřáté jinde

Ohřev TV se dále člení:

dle místa ohřevu na:

- **místní** ohřev (lokální) – voda se ohřívá v místě odběru pro jeden nebo i více výtoků (např. pro jednu bytovou jednotku)
- **ústřední** ohřev (centrální) – voda se ohřívá v domovním ohřívacím zařízení centrálně pro celý objekt

dle konstrukce zařízení:

- **zásobníkový** ohřev (akumulační), kdy se voda ohřívá na určité časové období
- **průtočný** ohřev, kdy se voda ohřívá pouze při průtoku zařízením
- **smíšený** ohřev, při němž je průtočný ohřev doplněn o malý zásobník pro krátkodobé odběrové špičky

dle vstupní energie pro ohřev:

- ohřev **jednoduchý** – teplo je dodáváno jen jedním zdrojem
- ohřev **kombinovaný** – voda je v jednom ohříváči ohřívána různými zdroji (např. topnou vodou z kotle a elektrickou spirálou)

Pro samostatný ohřev teplé vody je využívána elektrická energie, výjimečně zemní plyn. Nejběžnější jsou však v budovách situace, kdy je systém přípravy teplé vody spojen se systémem vytápění. Z toho vyplývá, že zdroj ohřevu teplé vody se většinou shoduje se zdrojem pro vytápění (viz kap. 3.1.1.1.).

Výběr způsobu ohřevu teplé vody je závislý na vnitřním uspořádání objektu a předpokládaném potřebném množství teplé vody. Pro půdorysně rozlehlé objekty s menšími odběry (např. školy s ohřevem teplé vody v učebnách) je energeticky nejvýhodnějším způsobem přípravy **místní ohřev** elektrickou energií. Při tomto způsobu ohřevu dochází k nejmenším tepelným ztrátám vedením teplé vody k místu spotřeby.

V případě, že jsou místa odběru sdružena jen do některých částí objektu (např. koupelny a kuchyně v bytových domech nad sebou), je výhodnější **ústřední ohřev** teplé vody. Centrální ohřev je možné realizovat několika způsoby.

Nejjednodušším způsobem centrální přípravy teplé vody je **přímý zásobníkový ohřev** pomocí elektrické energie nebo plynu. Dále je hojně využíván kombinovaný ohřev pomocí zdroje tepla pro vytápění, zejména kotle. Během topné sezony je zásobník nahříván energií z kotle. Pokud není zdroj tepla v provozu, zajistí ohřev teplé vody integrované topné těleso (elektrická spirála). Tento způsob přípravy teplé vody je výhodný zejména ekonomicky, neboť cena paliva při ohřevu teplé vody pomocí zemního plynu nebo pevných paliv, či biomasy je mnohem nižší než ohřev elektrickou energií.

Centrálně lze teplou vodu připravovat i **průtočně**. Tento způsob je využíván hlavně pokud je v objektu předávací stanice centrálního zásobování teplem. Při tomto způsobu ohřevu teplé vody je zpravidla výměník sloužící k ohřevu teplé vody napojen na zásobník, který slouží k pokrytí odběrových špiček.

Průtočným centrálním ohřevem teplé vody je i ohřev pomocí fototermitických kolektorů. Kolektory jsou vždy doplněny tzv. akumulací nádrží, která je nahřívána energií ze slunce (tepelná energie je v ní akumulována). Samotná teplá voda je poté připravována průtočně uvnitř této nádrže. Pro případ nedostatečného slunečního svitu je akumulací nádrž vždy doplněna elektrickým dohřevem.

Centrální příprava teplé vody sebou přináší i několik energetických 'nevýhod'. Zejména je to potřeba dohřevu v místě spotřeby nebo cirkulace, která zajistí rychlou dodávku teplé vody i u nejvzdálenější výtokové armatury (bez nutnosti dlouhého odpouštění zchladlé vody v rozvodu teplé vody). Cirkulace zpravidla vyžaduje dodání energie pro chod cirkulačního čerpadla a zároveň pomocí cirkulace dochází ke ztrátám.

U centrální přípravy teplé vody je nutností výborně tepelně izolovat celý systém rozvodů a zásobníků teplé vody. K omezení energetické náročnosti ohřevu teplé vody se využívá směšování teplé vody, kdy voda jdoucí z cirkulačního rozvodu zpět ke zdroji tepla se smíchá se studenou vodou a ve zdroji tepla se pak ohřeje voda s vyšší teplotou než samotná studená voda.

U novostaveb bytových domů je využíván i **decentralizovaný nepřímý průtokový ohřev TV**, kdy ke každé spotřebitelské jednotce je přivedena topná voda a studená voda. Ohřev je prováděn v předávací stanici přímo u bytu, takže odpadá nutnost akumulace ohřáté vody.



Obr. 14 - Zásobníkový ohřivač



Obr. 15 - Průtokový ohřivač



Obr. 16 - Kombinovaný ohřivač

### 3.1.3 Ostatní spotřeby energie v objektu

#### 3.1.3.1 Osvětlení

Celkovou energetickou spotřebu v objektech ovlivňují kromě výše zmíněného i další spotřebiče. Největším spotřebičem energie v objektech je většinou **osvětlení**. Osvětlení zajišťuje v objektech dosažení zrakové pohody a celkové bezpečnosti provozu. Energetické požadavky nelze těmto požadavkům nadřazovat. Volbou osvětlovací soustavy lze ale celkovou energetickou náročnost osvětlení výrazně ovlivnit.

Osvětlovací soustava se skládá ze svítidel, světelných zdrojů, předřadníků, řídicího systému a příslušenství.

**Světelné zdroje** se posuzují z hlediska energetické účinnosti přeměny elektrické energie na energii světelnou. Některé světelné zdroje potřebují ke svému provozu ještě předřadné přístroje, které umožňují start a stabilní výkon zdroje (např. Žárovky). Tyto přístroje pak mají vliv na celkovou energetickou náročnost osvětlení.

Rozdělení světelných zdrojů:

- standardní žárovky - v minulosti nejběžnější světelné zdroje, v současnosti vlivem legislativy již na ústupu
  - nízká účinnost přeměny energie na světlo (jen 8%)
- halogenové žárovky – o 20% - 30% procent nižší spotřeba než u klasických žárovek
- lineární zářivky – až o 85% vyšší účinnost než žárovky
- kompaktní zářivky (úsporky) – až o 80% vyšší účinnost než klasická žárovka, kterou v současnosti nahrazuje
- výbojky – účinnost až 90%, jsou používány zejména tam, kde je kladen důraz na nízké náklady, nevýhodou je nízký index podání barev (zkreslují barvy)
- LED žárovky - jejich hlavní výhodou je velmi dlouhá životnost a nižší spotřeba než u úsporných zářivek

**Svítidla** jsou technická zařízení, která svými optickými prvky rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované světelným zdrojem. Způsob konstrukce svítidla pak významně ovlivňuje energetickou náročnost osvětlovací soustavy (např. k zajištění stejných světelných podmínek bude pod mléčným krytem osvětlení nutný světelný zdroj o vyšším výkonu než pod krytem čirým).

**Řídicí systém** osvětlovacích soustav je zařízení, sloužící k ovládní chodu a intenzity osvětlení. Do těchto zařízení se řadí spínače, světelná a pohybová čidla, časové spínače apod.

**Světelná čidla** umožňují využití denního osvětlení. Pokud světelné čidlo zaregistruje dostatečné osvětlení pomocí denního světla, sníží výkon osvětlovací soustavy a nebo ji zcela vypne do doby, než vyhovující světelné podmínky pominou a osvětlovací systém je opět spuštěn.

**Pohybová čidla** kontrolují přítomnost osob ve vymezeném prostoru (např. pracovní míst) a v případě, že je uživatel mimo tento prostor, pohybové čidlo umožní vypnutí osvětlení v tomto prostoru.

**Časové spínače** umožňují vypnutí osvětlení nebo snížení jeho výkonu v určité nastavené části dne.

Energetickou náročnost osvětlení je možné také ovlivnit celkovým uspořádáním svítidel v prostoru (např. nad komunikačními prostory menší intenzita osvětlení než nad pracovními místy apod.)

### 3.1.3.2 Ostatní spotřebiče

Spotřebu energie v objektech také ovlivňuje volba a způsob využití dalších spotřebičů. Jedná se o počítače, televize, ledničky, pračky apod. Jejich energetickou náročnost je vhodné sledovat již při nákupu (tzv. energetické štítky). Dále je možné jejich spotřebu ovlivnit důsledným vypínáním, instalací časových spínačů např. pro používání jen v době levnějšího elektrického proudu, instalací vypínačů umožňující jejich úplné vypnutí z režimu standby apod.

### 3.1.4 Možnosti snižování spotřeby energie v budovách – rekonstrukce

Vzhledem ke stále rostoucím cenám energie rostou významně náklady uživatelů na jejich provoz. Energeticky úsporná opatření realizovaná dodatečně na již stojící budovy mohou být buď stavební nebo technologická.

Stavebními opatřeními jsou:

- zateplování staveb – tj. provedení zateplovacího systému stěn, zateplení střech, stropů na půdu nebo konstrukcí mezi vytápěným a nevytápěným prostorem
- výměna oken a vstupních dveří – zlepšení tepelněizolačních vlastností výplní otvorů je možné provést buď pouze výměnou zasklení (méně časté) nebo výměnou celé konstrukce oken nebo vstupních dveří

Technologická opatření:

- změna zdroje vytápění – tj. náhrada zdroje vytápění s malou účinností za nový, s vyšší účinností
- změna systému vytápění – např. náhrady vytápění pomocí elektrických přímotopů za vytápění teplovodní se zdrojem v podobě tepelného čerpadla nebo plynového kotle
- instalace zdrojů OZE – tj. využívání obnovitelných zdrojů energie v budově, např. instalace fotovoltaických kolektorů k výrobě elektřiny, nebo fototermických kolektorů k ohřevu teplé vody

Stavební a technologická opatření se s výhodou kombinují. Po zateplení objektu se sníží tepelná ztráta, což si vyžádá změnu zdroje vytápění nebo otopné soustavy. Jako nový zdroj je pak použit takový, který bude mít vyšší účinnost než zdroj původní.

## 3.2 Energetické dokumenty

### 3.2.1 Energetický audit

Energetický audit je nejkompexnější energetický dokument, který se zabývá toky energií v budově. Vychází z reálných spotřeb energií, reálných klimatických dat v místě stavby a způsobu užívání budovy za poslední 3 roky. Na základě těchto údajů je auditorem vytvořen výpočtový energetický model. S tímto výpočtovým modelem objektu se pak dále pracuje a součástí auditu je vždy návrh opatření, které povedou ke snížení spotřeby energie v budově. Tato opatření se hodnotí z pohledu ekologie a ekonomiky. Energetický auditor pak vyhodnotí nejvýhodnější variantu souboru opatření a tu doporučí k realizaci.

Jedná se o dokument, jehož obsah je přesně vymezen legislativou (v současnosti vyhl. 480/2012 Sb., „o energetickém auditu a energetickém posudku“).

Povinnost zpracovat energetický audit se dle energetického zákona 318/2012 Sb. ukládá v případě, že:

a) budova nebo energetické hospodářství mají celkovou průměrnou roční spotřebu energie za poslední dva kalendářní roky vyšší, než je hodnota spotřeby energie stanovená prováděcím předpisem (vyhl. 480/2012 Sb. stanovuje minimální spotřebu jednotlivé budovy na 700 GJ).

b) u větší změny dokončené budovy, pokud je nutné prokázat, že požadavky na energetickou náročnost budovy dle prováděcího předpisu (vyhl. 78/2013 o energetické náročnosti budov) není možné splnit z technických nebo ekonomických důvodů s ohledem na životnost stavby a její provozní účely.

Kromě těchto legislativních požadavků je zpracování auditu požadováno při žádosti o dotace na zateplení budov nebo výměnu topného zdroje. V neposlední řadě se energetické audity zpracovávají pro investory, kteří se rozhodnou energeticky vylepšit svůj objekt (zateplit) a přitom hledají optimální řešení.

### 3.2.2 Energetický posudek

Energetický posudek je dokument, jehož obsah je, stejně jako u energetického auditu, přesně vymezen legislativou. Případy, kdy je povinnost zpracovat energetický posudek jsou definovány v energetickém zákoně 318/2012 Sb.

Tento dokument je vyžadován zejména při výstavbě nových staveb nebo při větší změně dokončené budovy

a při vyhodnocení zavedení výroby elektřiny nebo tepla. Dokument nevychází z reálných spotřeb objektu, ani s nimi nijak nepracuje a nedává návrhy na energeticky úsporná opatření. Pouze tato opatření hodnotí (návrh opatření musí být proveden v jiném dokumentu – např. projektová dokumentace, energetický audit, průkaz energetické náročnosti budovy apod.). Dle účelu zpracování energetického posudku předepisuje vyhláška podobu evidenčního listu.

### 3.2.3 Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti je energetický dokument, ve kterém je hodnocena výpočtová spotřeba všech energií v budově.

Výstupem je protokol a grafické vyjádření, ze kterého je zřejmá celková energetická náročnost hodnoceného objektu a celková spotřeba neobnovitelné primární energie (hodnocení vlivu provozu na životní prostředí). Na základě těchto hodnot je pak objekt zatříděn do kategorie A-G.

Kromě toho je v průkazu hodnocen průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  a dílčí dodané energie na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti, přípravu teplé vody a osvětlení.

Do hodnocení budov pomocí průkazu energetické náročnosti tedy vstupují nejen tepelněizolační vlastnosti konstrukcí budov, ale také vlastnosti energetických systémů využívaných v budově. Pro zpracování průkazu energetické náročnosti budovy nejsou využívány reálné fakturační spotřeby energií.

Dokument se zpracovává výpočtem dle vyhlášky 78/2013 Sb.

### 3.2.4 Energetický štítek obálky budovy

Energetický štítek obálky budovy a protokol k energetickému štítku obálky budovy jsou technické dokumenty, kterými je možné doložit splnění požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$ .

Obsahem protokolu je základní soubor údajů potřebných k výpočtu tepelné ztráty prostupem pro budovu jako celek.

Energetický štítek obsahuje zatřídění budovy do kategorie A-G podle průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  a grafické vyjádření.

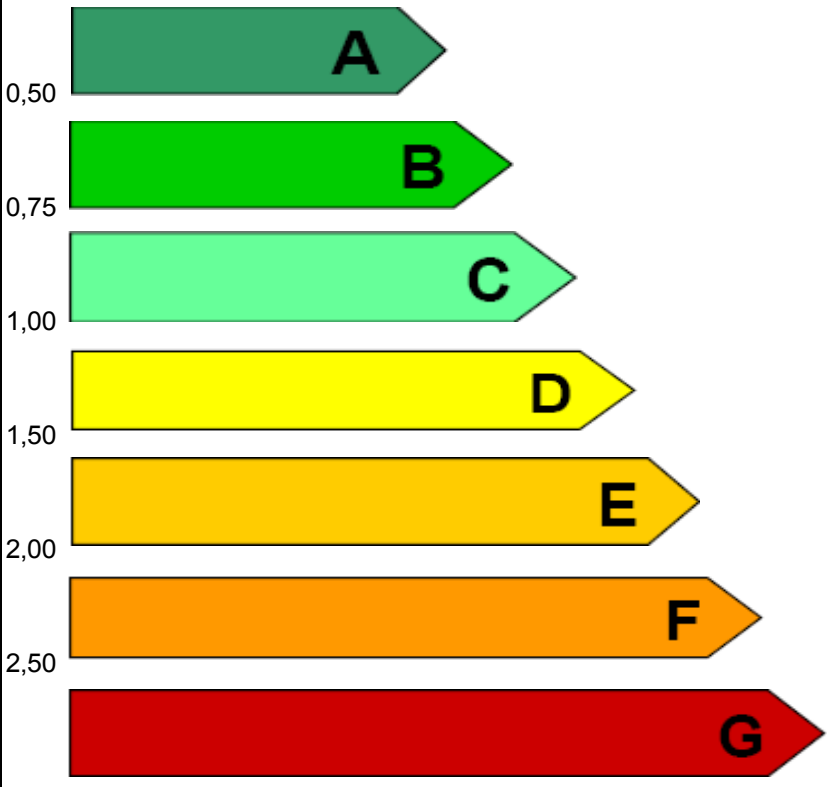
Do hodnocení energetického štítku obálky budovy vstupují pouze geometrické charakteristiky hodnocené budovy, součinitel prostupu tepla konstrukcí a teplotní parametry interiéru a exteriéru. Do výpočtu nevstupují údaje o energetických systémech instalovaných v budově.

Způsob výpočtu je uveden v ČSN 73 0540-4.

### 3.2.5 Energetická studie

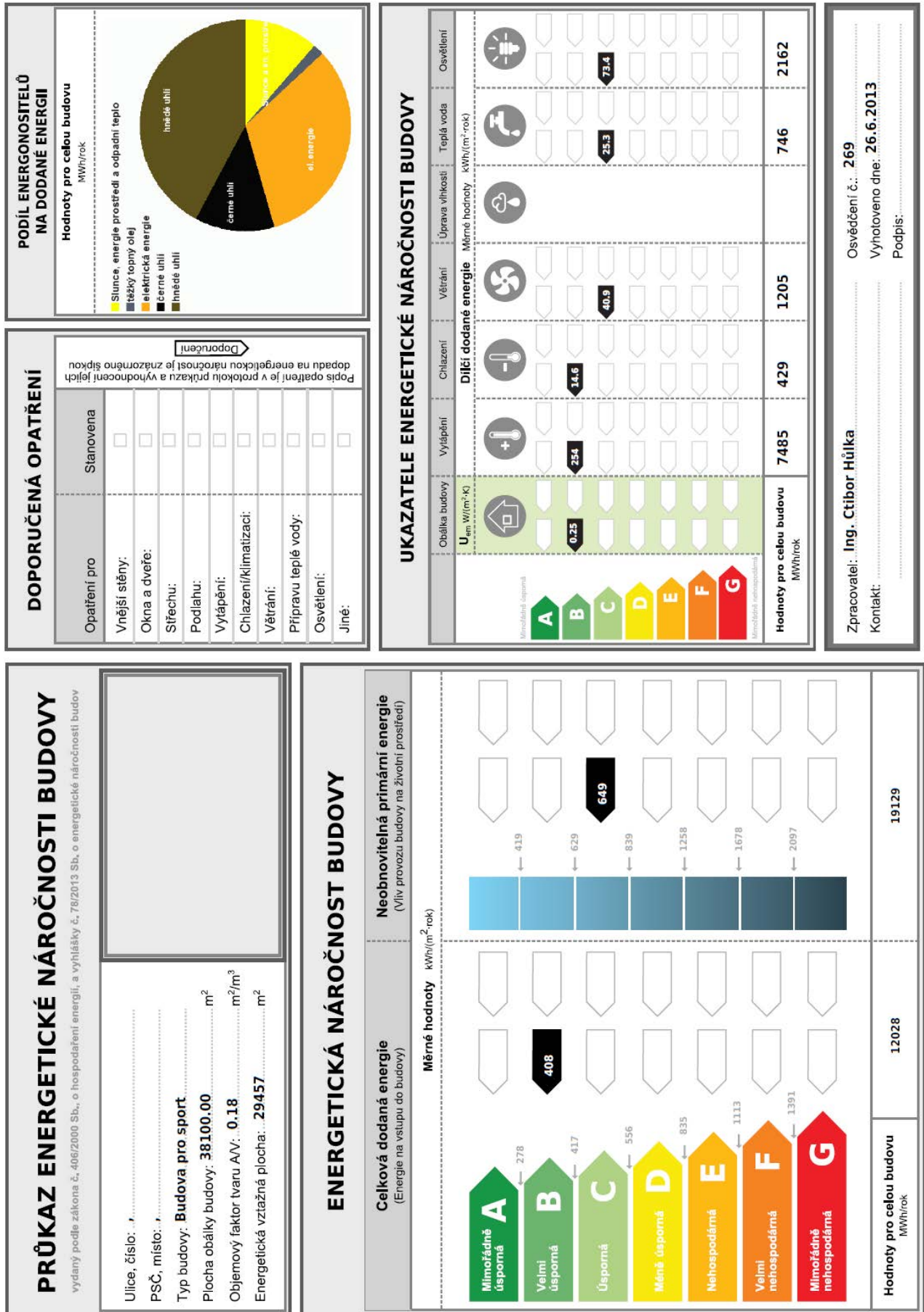
Energetická studie je dokument, jehož obsah není definován žádným předpisem. Energetické studie se zpracovávají za účelem jasně definovaným zadavatelem. Nejčastěji se jedná o ekonomické vyhodnocení energeticky úsporných opatření. Zjednodušeně řečeno energetická studie dává zadavateli odpověď na otázku, zda se investice do úsporného opatření vyplatí, nebo ne.

Energetické studie se mohou zpracovávat i jako náhrada energetického auditu v případě, že investor nepožaduje legislativně danou podrobnost auditu a přitom chce znát výsledky ekonomického hodnocení navržených opatření. Nejčastěji se jedná o vyhodnocení investice související se zateplením domu, výměnou oken, změnou zdroje energie apod.

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY						
budova pro sport				Hodnocení obálky budovy		
Celková podlahová plocha $A_c$		29 457 m <sup>2</sup>		stávající stav	obecné doporučení	
<b>CI Velmi úsporná</b> 						
				<b>0,63</b>	<b>0,75</b>	
<b>Mimořádně neekonomická</b>						
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$ ve $W/(m^2.K)$ , $U_{em} = H_T/A$				0,25	0,30	
Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy podle ČSN 73 0540-2 $U_{em,N}$ ve $W/(m^2.K)$				0,40	-	
Klasifikace ukazatele CI a jim odpovídající hodnoty $U_{em}$						
CI	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
$U_{em}$	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
Štítek vypracoval	-					
Energetický expert	-					
Klasifikace	-					
Datum zpracování	-					

Obr. 17 - Příklad energetického štítku obálky budovy





Obr. 18 - Příklad grafického vyjádření výsledků průkazu energetické náročnosti budovy



### 3.3 Stavby s velmi nízkou spotřebou energie

Rostoucí ceny energií (paliv) a legislativa EU vyžadující snižování emisí skleníkových plynů vede v posledních letech k výrazné změně v přístupu k návrhu obytných i občanských staveb. Ve stále větší míře jsou realizovány stavby s velmi nízkou spotřebou energie. Mezi nejčastěji zmiňované typy staveb v souvislosti s energetickou šetrností patří nízkoenergetické, pasivní a nulové domy.

**Nízkoenergetické domy** jsou charakterizovány nízkou potřebou tepla na vytápění, které je dosaženo zejména optimalizovaným stavebním řešením obálky budovy a instalací systému nuceného větrání s rekuperací. Měrná potřeba tepla na vytápění u těchto domů nepřekračuje 50 kWh/m<sup>2</sup> (výpočtová potřeba energie na vytápění vztažená na 1 m<sup>2</sup> podlahové plochy domu).

**Pasivní domy** jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz. Toho je dosaženo:

- důslednou optimalizací stavebního řešení – velké tloušťky tepelných izolací v konstrukcích domu, minimalizace tepelných mostů, jednoduchý tvar domu
- maximálním využitím solárních zisků
- instalací nuceného větrání s rekuperací odpadního vzduchu
- návrhem ekologických technologických systémů pro vytápění a přípravu teplé vody

Jako jeden ze základních požadavků pro rodinné pasivní domy je stanovena měrná potřeba tepla na vytápění max. 20 kWh/(m<sup>2</sup>a), pro bytové pasivní domy je dána hodnota max. 15 kWh/m<sup>2</sup> (výpočtová potřeba energie na vytápění vztažená na 1 m<sup>2</sup> podlahové plochy domu).

**Energeticky nulové domy** jsou stavby se spotřebovanou energií blížíící se energii vyprodukované v budově. Záměrem EU je, aby v budoucnu byly realizovány pouze tyto typy staveb.

U všech výše popsaných budov je velmi důležité sledovat kvalitu realizace domu z hlediska vzduchotěsnosti. Proto je při realizaci doporučeno provádět zkoušku vzduchotěsnosti BLOWER-DOOR TEST (viz kap. 6.2). V případě, kdy je na stavbu domu žádána stavebníkem dotace z některého z dotačních fondů je provedení testu a splnění požadavků na vzduchotěsnost povinné.

## 4 Akustika

Akustická pohoda v interiéru je jednou z nejdůležitějších vlastností budov. V této kapitole je proto zpracován základní pohled na obor stavební akustiky. Velmi zjednodušeně lze problematiku stavební akustiky rozdělit do tří částí. Jedná se o **zvukovou izolaci konstrukcí, prostorovou akustiku a hluk uvnitř a v okolí staveb**.

Z pojmu **zvuková izolace** vyplývá, že při projektování staveb je pozornost projektanta soustředěna na návrh takových konstrukcí, které budou dostatečně snižovat přenos hluku mezi místnostmi v budově a přenos hluku z vnějšího prostředí dovnitř budovy.

Při řešení **prostorové akustiky** se projektant snaží o návrh interiérů, ve kterých je dobrá srozumitelnost mluveného slova, nedochází zde k ozvěnám a nevzniká zde nepřiměřený hluk způsobený například větším výskytem osob na jednom místě (nádraží, restaurace, veřejné bazény apod.).

Poslední oblast **hluk uvnitř a v okolí staveb** v sobě skrývá problematiku hluku z technického vybavení budov (výtahy, strojovny vzduchotechniky, strojovny chlazení apod.) a vliv hluku v okolí stavby na plánovanou budovu (doprava, průmyslové areály apod.), nebo naopak vliv plánované budovy na okolí (hlučný výrobní provoz, vzduchotechnika apod.). Také tyto oblasti akustiky patří do projektové přípravy většiny staveb. Velmi často se jedná o ty nejhůře řešitelné problémy se kterými se projektant nebo stavebník při návrhu stavby může setkat.

### 4.1 Zvuková izolace

Schopnost zvukové izolace konstrukcí se dělí na odolnost proti zvuku šířeného vzduchem (hovor osob, hlasitá hudba apod.) a na odolnost přenosu kročejového hluku.

Tyto vlastnosti se v návaznosti na způsob šíření zvuku odborně nazývají vzduchová a kročejová neprůzvučnost, přičemž úroveň kročejové neprůzvučnosti se hodnotí pouze u skladeb stropu s podlahou. Zatímco vzduchovou neprůzvučnost sledujeme u vnitřních i obvodových stěn, stropů, střechy i okenních výplní.

Pod pojmem kročejový hluk se skrývá zvuk, který vzniká a šíří se ve stavební konstrukci. Původ tohoto zvuku je v mechanických impulsích, kterými se v konstrukcích vybudí ohybové vlny, které se následně konstrukcí šíří (konstrukce „vede“ zvuk). Příkladem takových mechanických impulsů je chůze, pád těles na podlahu, posunování židlí, ale také provoz strojů umístěných na podlaze nebo zavěšených na stěně, případně zvuk z hudebního nástroje. Konstrukce po vybudění „zvuk vede“ a poté ve vedlejších místnostech vyzraňuje pro nás nežádoucí kročejový hluk. Vzhledem k možným způsobům vybudění konstrukce je šíření kročejového hluku nejčastější podlahou a stropem z vyššího podlaží do podlaží spodního. Kročejový hluk je však veden také schodištěm, stropy na stejném podlaží nebo stěnami a to všemi směry.

#### 4.1.1 Požadavky

##### Vnitřní konstrukce

Při posuzování vzduchové neprůzvučnosti konstrukce mezi vzájemně sousedícími místnostmi je nutné, aby vážená stavební neprůzvučnost  $R'_w$  byla **vyšší** než požadované hodnoty uvedené v tab. 6.

Při posuzování vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi bez společné dělící konstrukce je nutné, aby vážený normovaný rozdíl hladin  $D_{nT,w}$  byl **vyšší** než požadované hodnoty uvedené v tab. 6.

Při posuzování vzduchové neprůzvučnosti vnitřních dveří je nutné, aby vážená laboratorní neprůzvučnost  $R_w$  byla **vyšší** než požadované hodnoty uvedené v tab. 6.

Při posuzování kročejové neprůzvučnosti konstrukce mezi místnostmi se společnou plochou stropu (vertikální přenos hluku z horní do spodní místnosti) je nutné, aby vážená stavební normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  byla **nižší** než požadované hodnoty uvedené v tab. 6.

Při posuzování kročejové neprůzvučnosti konstrukce mezi místnostmi bez společného stropu (diagonální, příp. horizontální přenos nebo přenos ze spodní místnosti do horní) je nutné, aby vážená stavební normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku  $L'_{nT,w}$  byla **nižší** než požadované hodnoty uvedené v tab. 6.

Požadavky v tab. 6. platí ve směru přenosu zvuku. Požadavky uvedené v tab. 6. jsou převzaty z ČSN 73 0532.

Tab. 6 – Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)					
řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci			
		Stropy		Stěny	Dveře
		$R'_{w, D_{nTw}}$ dB	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$ dB	$R'_{w, D_{nTw}}$ dB	$R_w$ dB
<b>A. Bytové domy, rodinné domy – nejméně jedna obytná místnost bytu</b>					
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	47	63	42	27
<b>B. Bytové domy – obytné místnosti bytu</b>					
2	Všechny místnosti druhých bytů, včetně příslušenství	53 52 <sup>1)</sup>	55 58 <sup>1)</sup>	53 52 <sup>1)</sup>	-
3	Společné prostory domu (schodiště, terasy, kočárkárny, sušárny, sklípky apod.)	52	55	52	32 <sup>2)</sup> 37 <sup>3)</sup>
4	Průjezdy, podjezdy, garáže, průchody, podchody	57	48	57	-
5	Místnosti s technickým zařízením domu (výměňkové stanice, kotelny, strojovny výtahů, strojovny VZT, prádelny apod.) s hlučím: $L_{A,max} \leq 80$ dB $80$ dB < $L_{A,max} \leq 85$ dB	57 <sup>4)</sup> 62 <sup>5)</sup>	48 <sup>4)</sup> 48 <sup>5)</sup>	57 <sup>4)</sup> 62 <sup>5)</sup>	-
6	Provozovny s hlučím $L_{A,max} \leq 85$ dB s provozem nejvýše do 22:00 s provozem i po 22:00 h	57 62	53 48	57 62	-
7	Provozovny s hlučím $85$ dB < $L_{A,max} \leq 95$ dB s provozem i po 22:00 h	72 <sup>5)</sup>	38 <sup>5)</sup>	-	-
<b>C. Terasové nebo řadové rodinné domy a dvojdomy – obytné místnosti bytu</b>					
8	Všechny místnosti v sousedním domě	57	48	57	-
<b>D. Hotely a zařízení pro přechodné ubytování – ložnicový prostor ubytovací jednotky</b>					
9	Všechny místnosti druhých jednotek	52	58	47	42 <sup>6)</sup>
10	Společně užívané prostory (chodby, schodiště)	52	58	45	32 27 <sup>7)</sup>
11	Restaurace a jiné provozovny s provozem do 22:00 h	57	53	57	-
12	Restaurace a jiné provozovny s provozem i po 22:00 h ( $L_{A,max} \leq 85$ dB)	62	48	62	-
<b>E. Nemocnice, zdravotnická zařízení – lůžkové pokoje, ordinace, pokoje lékařů, operační sály apod.</b>					
13	Lůžkové pokoje, ordinace, ošetřovny, operační sály, komunikační a pomocné prostory (chodby, schodiště, haly)	52	58	47 <sup>8)</sup>	27
14	Hlučné prostory (kuchyně, technická zařízení budovy) $L_{A,max} \leq 85$ dB	62	48	62	-
<b>F. Školy a vzdělávací instituce – učebny, výukové prostory</b>					
15	Učebny, výukové prostory	52	58	47	-
16	Společné prostory, chodby, schodiště	52	58	47	32 27 <sup>7)</sup>
17	Hlučné prostory (dílly, jídelny) $L_{A,max} \leq 85$ dB	55	48	52	-
18	Velmi hlučné prostory (hudební učebny, dílly, tělocvičny) $L_{A,max} \leq 90$ dB	60 <sup>9)</sup>	48 <sup>9)</sup>	57 <sup>9)</sup>	-
<b>G. Administrativní a správní budovy, firmy – kanceláře a pracovny</b>					
19	Kanceláře a pracovny s běžnou administrativní činností, chodby, pomocné prostory	47	63	37	27
20	Kanceláře a pracovny se zvýšenými nároky, pracovny vedoucích pracovníků	52	58	45	32
21	Kanceláře a pracovny pro důvěrná jednání nebo jiné činnosti vyžadující vysokou ochranu před hlučím	52	58	50	37

Poznámky k tab. 6:

- <sup>1)</sup> Požadavek se vztahuje pouze na starou, zejména panelovou výstavbu, pokud neumožňuje dodatečná zvukově izolační opatření
- <sup>2)</sup> Platí pro vstupní dveře z chodby do předsíně (vstupní haly) bytu, je-li chráněný prostor místností oddělen dalšími dveřmi.
- <sup>3)</sup> Platí pro vstupní dveře z chodby přímo do chráněné obytné místnosti bytu
- <sup>4)</sup> Kromě splnění stanovených požadavků na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje a zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami aj.) a k překročení hygienických limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. V prokázaných případech, kdy zařízení nebude zdrojem hluku a vibrací, lze požadavky snížit o 5 dB. V opodstatněných případech se doporučuje provést předběžné posouzení pomocí akustické studie.
- <sup>5)</sup> Kromě splnění stanovených požadavků na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje a zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami aj.) a k překročení hygienických limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. Místnosti s provozním hlukem s dominantním obsahem nízkých kmitočtů nebo s tónovými složkami (např. hlučné strojovny, diskotéky apod.) se zásadně nedoporučuje situovat do blízkosti obytných jednotek. Zejména přenos nízkých kmitočtů nelze v běžných obytných budovách účinně omezit. V odůvodněných případech je nezbytné provést posouzení pomocí akustické studie. Provozovny s hlukem  $L_{Amax} > 95$  dB se nemají umísťovat do obytných budov.
- <sup>6)</sup> Platí pro spojovací dveře mezi samostatnými ubytovacími jednotkami (např. dvojité nebo zádveří)
- <sup>7)</sup> Platí pro vstupní dveře, je-li chráněný prostor oddělen předsíní nebo zádveřím s dalšími dveřmi
- <sup>8)</sup> U stěn s prosklenými částmi, přes které je nutný vizuální kontakt lze požadavek snížit o 5 dB a u celoplošných zasklení až o 10 dB (např. operační sály, JIP).
- <sup>9)</sup> Vzhledem k možnému přenosu nízkých kmitočtů mohou být nutná další opatření. Situace obvykle vyžaduje individuální posouzení.
- <sup>10)</sup> Požadavky platí rovněž mezi uvedenými pracovny a přilehlými chodbami, popř. pomocnými prostory

### **Obvodové konstrukce**

Požadavky na vzduchovou neprůzvučnost obvodových konstrukcí (stěny, okna, střecha) se stanovují vždy na základě hluku před fasádou ve vzdálenosti 2 m v denní a noční době. Nejčastěji se jedná o hluk z dopravy (automobilová, tramvajová, železniční) a požadavky se vztahují na objekty určené pro bydlení a na ostatní občanskou výstavbu (nemocnice, hotely, školy, administrativní objekty apod.).

Přesný postup pro stanovení požadavků je uveden v ČSN 73 0532.

#### **4.1.2 Hodnocení**

##### **Vnitřní konstrukce**

Posoudit, zda vnitřní konstrukce vyhovuje požadavkům dle tab. 6 lze pouze měřením přímo na realizované stavbě. Měření zvukové izolace konstrukcí provádí akreditované laboratoře pro měření hluku.

Výpočtové posouzení, které se provádí při zpracování projektu stavby je tedy pouze orientační. V každém případě je ale nutné konstrukce ve fázi projektové přípravy výpočtově posuzovat, protože je tím dán reálný předpoklad toho, že konstrukce bude při měření vyhovující. Výpočet kročejové nebo vzduchové neprůzvučnosti konstrukce je vhodné přenechat specialistům v oboru akustika.

V některých případech, zejména to platí pro stanovení vzduchové neprůzvučnosti stěn a příček, můžeme do projektu použít hodnoty neprůzvučnosti  $R_w$ , které udávají výrobci v technických listech. Jedná se o hodnoty neprůzvučnosti z měření na zkušebním vzorku v akreditované zkušebně. Tyto hodnoty jsou k dispozici v technických listech zejména u výrobců zdících prvků, nebo u dodavatelů sádkokartonových systémů.

**V projektové fázi je však nutné pamatovat na fakt, že hodnoty neprůzvučnosti zjištěné výpočtem nebo převzaté od výrobců jsou vždy tzv. laboratorní hodnoty, značené  $R_w$  a  $L_{n,w}$ .**

Mezi hodnotami laboratorní neprůzvučnosti a hodnotami stavební neprůzvučnosti (ke kterým se vztahují požadavky v tab. 6) platí následující vztahy:

$$R'_w = R_w - k_1$$

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2$$

kde

$R'_w$  je vážená stavební neprůzvučnost

$L'_{n,w}$  je vážená stavební normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku

$R_w$  je vážená laboratorní neprůzvučnost

$L_{n,w}$  je vážená laboratorní normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku

$k_1$  a  $k_2$  je korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku

$k_1 = 2$  dB ... základní hodnota platná pro všechny dělicí konstrukce v masivních zděných nebo

montovaných panelových stavebách z klasických materiálů (cihly, beton)

$k_1 = 2$  až  $5$  dB ... doporučené hodnoty pro těžké dělicí konstrukce ve skeletových stavebách (např. Vyzdívané konstrukce ve skeletu apod.)

$k_1 = 4$  až  $8$  dB ... doporučené hodnoty pro lehké dělicí konstrukce ve skeletových, ocelových nebo dřevěných stavebách (deskové dílce, sádkartonové konstrukce, dřevěné stropy apod.)

$k_2 = 0$  až  $2$  dB

### **Obvodové konstrukce**

Při hodnocení zvukové izolace obvodového pláště je vždy nejsložitějším úkolem stanovení úrovně hlučnosti před fasádou řešeného domu. Až na základě zjištěné hladiny hluku před fasádou v denní a noční době (ve vzdálenosti 2 m) je možné stanovit požadavek na neprůzvučnost obvodového pláště podle ČSN 73 0532 a následně navrhnout konstrukci (obvodovou stěnu, typ okenní výplně, skladbu střechy).

V převažujících případech se jedná o hluk z dopravy. Výjimečně se jedná o hluk ze stacionárních zdrojů (VZT, chlazení apod.) Hluk před fasádou domu je možné stanovit následujícím způsobem:

- odečtem z dopravní hlukové mapy pro denní (6:00-22:00) a noční dobu (22:00-6:00). Hlukové mapy jsou dostupné pouze pro centra větších měst (Praha, Brno, Ostrava), případně pro okolí vybraných úseků dálnic nebo železničních koridorů
- výpočtem na základě informací o intenzitě dopravy v lokalitě (auta, tramvaje)
- měřením hluku na místě samotném v časové sondě několika hodin a následným dopočítáním celkového hluku pro denní a noční dobu (častý postup v případě železniční dopravy, případně při hluku ze stacionárních zdrojů)
- měřením hluku po celou denní a noční dobu

### **4.1.3 Zvuková izolace konstrukcí v praxi**

V následujícím textu jsou uvedeny základní principy a poznatky z oblasti zvukové izolace konstrukcí, které je vhodné znát pro každodenní stavební praxi.

Vnitřní stěny bytů a rodinných domů jsou prováděny buď jako zděné nebo montované z ocelových nebo dřevěných profilů s opláštěním lehkými deskami (nejčastěji sádkartonem). Neprůzvučnost zděných stěn roste s jejich plošnou hmotností (vždy je však nutné, aby byly celoplošně opatřeny omítkou). Železobetonové stěny mají mnohem vyšší schopnost izolace zvuku než stěny z plynosilikátových tvárníc.

Neprůzvučnost stěn ze sádkartonu závisí na jejich tloušťce, počtu vrstev opláštění a způsobu provedení nosné konstrukce. Obecně lze říci, že lehké montované příčky ze sádkartonových nebo sádrovláknitých desek jsou náchylnější k přenosu hluku bočními cestami (místa vzájemného napojení stěn, napojení stěn a stropu apod.) a proto z hlediska zvukové izolace patří mezi rizikovější. Také netypické řešení konstrukčních detailů (napojení, prostupy apod) může velmi výrazně ovlivnit kvalitu provedení stěn z hlediska akustiky.

U vzduchové neprůzvučnosti se uplatňují u stropů jak principy hmotnosti (čím těžší strop, tím lepší neprůzvučnost), tak principy zdvojení konstrukce (dřevěné trámové stropy s podhledem a vzduchovou vrstvou).

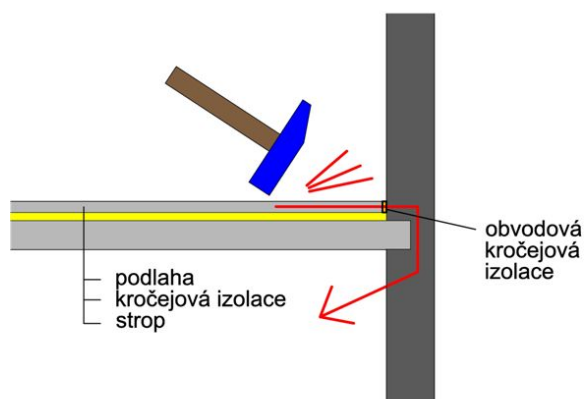
Za rizikové z hlediska vzduchové neprůzvučnosti lze považovat zejména stropy v posledním podlaží pod půdou, kde tento strop je tvořen pouze sádkartonovým podhledem s tepelnou izolací. U tohoto typu stropu dochází k výraznému bočnímu přenosu hluku mezi místnostmi na stejném podlaží.

Problematické pro přenos hluku mezi podlažími jsou instalační šachty, kterými vždy dochází k šíření hluku. Ve správně navržených domech jsou instalační šachty umístěny mimo obytné místnosti, nejčastěji v koupelnách a na toaletách.

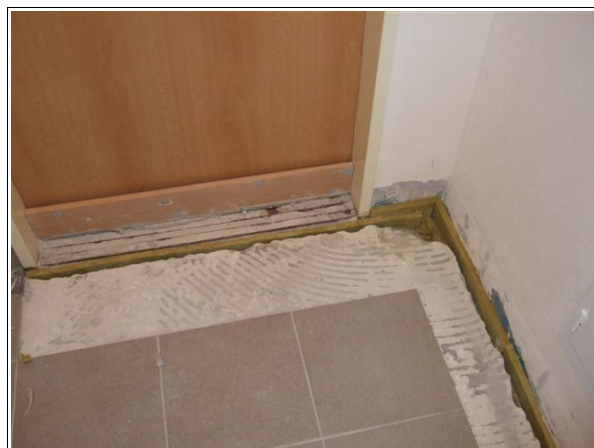
Pro omezení šíření kročejového hluku konstrukcí je nutné do podlah umisťovat materiály, které zvuk nevedou tak dobře jako běžné stavební materiály (ocel, dřevo, beton, kámen). Těmto materiálům se obecně říká zvukoizolační podložky nebo kročejová izolace. Jedná se o desky z minerálních vláken nebo elastifikovaného polystyrenu. Tyto desky jsou při stavbě domu položeny na strop a poté je provedena těžká podlaha z betonové mazaniny nebo lehká podlaha z desek na bázi dřeva (cementotřískové desky, OSB desky). Při její realizaci je nutné, aby podlaha byla pružnou vrstvou oddělena nejen od stropu, ale také po obvodu místnosti od stěn. Takto vznikne tzv. plovoucí podlaha odolná vůči šíření kročejového hluku, na kterou je poté provedena nášlapná vrstva (skládané laminátové dílce, koberec, PVC apod.). V praxi je pod pojmem plovoucí podlaha často chápána pouze nášlapná vrstva provedená ze skládaných dílců (laminátových nebo dřevěných) položená na vrstvu extrudovaného polyetyleny o tloušťce 5 – 10 mm. Pouze takto provedená nášlapná vrstva nás však nemůže nikdy spolehlivě ochránit od šíření kročejového hluku a je vždy nutné provést opravdovou plovoucí podlahu.

Ideální těžká plovoucí podlaha je provedena jako betonová deska tl. cca 60 mm oddělená od stropu vrstvou

kročejové izolace z minerálních vláken tl. cca 40 mm a od stěn po obvodu místnosti páskem kročejové izolace o tloušťce 15 mm. Na obr. 20 je fotka z realizace dodatečného provedení pásku kročejové izolace po obvodu podlahy. Absence kročejové izolace po obvodu podlahy způsobila nevyhovující stav z hlediska kročejové neprůzvučnosti mezi byty a společnými chodbami. Jednalo se o velmi drahé opatření, které bylo v bytovém domě provedeno na základě úspěšné reklamace.



Obr. 19 - Princip šíření kročejového hluku konstrukcí



Obr. 20 - Příklad dodatečného provedení kročejové izolace, která odděluje roznášecí desku podlahy od stěn

Omezení šíření hluku konstrukcí je nutno praktikovat i v případě stěn. Jedná se zejména o kotvení technologického vybavení pomocí pružných podložek (kotle, pohony garážových vrat, vzduchotechnika, chlazení, výtahy apod.).

Elektroinstalace, rozvody vody a odpadů ve stěnách značně snižují vzduchovou neprůzvučnost stěn. např. kuchyňské linky by z tohoto důvodu neměly být umísťovány na mezibytové stěny – viz obr. 21.

Zděná stěna bez omítek má až o 20 dB nižší vzduchovou neprůzvučnost než stěna s omítkami. Z hlediska vzduchové neprůzvučnosti je tedy nutné provádět omítky i na části stěn nad kazetovými podhledy. Tento fakt bývá často opomíjen a vede to k velmi nízké úrovni vzduchové neprůzvučnosti celé stěny – viz obr. 22.



Obr. 21 - Instalace připravené pro umístění kuchyňské linky na mezibytovou stěnu – vysoké riziko snížení vzduchové neprůzvučnosti stěny



Obr. 22 - Pohled do prostoru nad kazetovým stropním podhledem – neomítnuté zdivo stěny

## 4.2 Prostorová akustika

Prostorová akustika se zabývá vnitřními prostory staveb z hlediska srozumitelnosti řeči, úrovně vnitřní hlučnosti v rušných provozech, kvality reprodukce hudby apod. V době, kdy moderní architektura je spojena s realizacemi ze skla, pohledových betonů, litých podlah a dalších materiálů s velmi nízkou schopností zvukové pohltivosti je řešení prostorové akustiky velmi aktuální.

S řešením prostorové akustiky se setkáváme zejména u velkých vnitřních prostorů občanských staveb. Jedná se o koncertní sály, společenské prostory, bazénové haly, sportovní haly, přednáškové sály, divadla, tělocvičny apod. U všech těchto prostor je nutné řešit prostorovou akustiku už ve fázi projektové přípravy stavby. Tyto typy prostorů je nutné ve fázi projektu posuzovat výpočtem a je vhodné, aby tuto část projektové dokumentace zpracoval specialista v oboru akustika.

Další skupinou vnitřních prostorů staveb jsou provozy, u kterých je předpokládána nadměrná hlučnost spojená s velkým počtem lidí. Jedná se o prostory restaurací, nádraží, vstupních hal, chodeb apod. U těchto prostorů není nutné prostorovou akustiku řešit výpočtem. Je však nutné v těchto prostorech navrhnout širokopásmový akustický obklad stropu nebo stěn, který vykazuje vysokou úroveň zvukové pohltivosti a jeho instalace vede ke značnému snížení hluku v těchto prostorách.

Prostorovou akustiku nejčastěji hodnotíme pomocí tzv. **doby dozvuku**. Doba dozvuku je zjednodušeně řečeno doba, za kterou se po vypnutí zdroje zvuku sníží hladina hluku ve vnitřním prostoru o 60 dB.

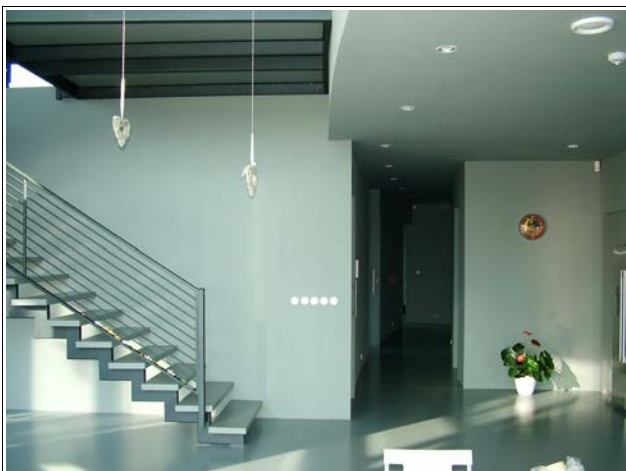
Doba dozvuku se hodnotí souborem hodnot v sekundách pro jednotlivá frekvenční pásma. Požadavky na dobu dozvuku jsou pro různé typy místností uvedeny v ČSN 73 0527. Pro většinu vnitřních prostorů se požadavky určují v závislosti na objemu místnosti. Čím větší je vnitřní objem místnosti, tím je povolena vyšší doba dozvuku.

V prostorech s velmi vysokou dobou dozvuku (prostory s minimem zvukopohltivých ploch) dochází při jakékoliv produkci zvuku k mnohonásobným odrazům zvukových vln od vnitřních povrchů, což vede k pocitu velmi hlučného prostředí.

Splnění požadavků na dobu dozvuku se stejně jako u zvukové izolace prokazuje pouze měřením na stavbě. Měření je prováděno akreditovanými laboratořemi pro měření hluku. V rámci zpracování projektu stavby je možné využít některou z výpočtových metod (existuje také výpočetní software).

Na následujících obrázcích jsou příklady typických interiérů s velmi špatně řešenou prostorovou akustikou. Jedná se o vnitřní prostory rodinného domu (viz obr. 23), kde dochází vlivem nedostatečné zvukové pohltivosti k výrazným ozvěnám a přeslechům, což vede ke zhoršené srozumitelnosti řeči a k nárůstu hluku při přítomnosti většího počtu osob (např. rodinná oslava).

Druhým příkladem (obr. 24) je školní tělocvična, kde chybou projektanta byl stropní podhled řešen z plných SDK desek a ani na stěnách nebyly provedeny zvukopohltivé úpravy. Výsledkem je prostor, kde je při hodinách tělocviku velmi nepříjemný hluk a pokyny učitelů směrem k žákům jsou nesrozumitelné.



Obr. 23 - Interiér rodinného domu s velmi vysokou dobou dozvuku



Obr. 24 - Interiér školní tělocvičny bez zvukopohltivých úprav

Pro zajištění odpovídající kvality prostorové akustiky se pro jednotlivé typy vnitřních provozů volí různá řešení. Pro standardní stavby občasně výstavby (školy, administrativní budovy, zdravotnictví, kongresová centra) se nejčastěji volí stěnové obklady a stropní podhledy z perforovaných sádkokartonových desek nebo z minerálních kazet.



Pro sportovní stavby se velmi často používají závěsná tělesa pod střechou objektu v kombinaci se stěnovými obklady. Sportovní stavby jsou při řešení prostorové akustiky jedny z nejnáročnějších objektů, protože vedle akustických požadavků je nutné, aby zvolené materiály splňovaly také další požadavky. Jedná se například o mechanickou odolnost vůči nárazu míče (tělocvičny) nebo odolnost vůči zvýšené relativní vlhkosti vzduchu (bazény, zimní stadiony).

Dále je nutné vždy při návrhu akustických prvků sledovat požadavky požární bezpečnosti staveb, tepelnětechnické souvislosti (umístěním akustických obkladů nebo podhledů dochází často ke zvláštní formě vnitřního zateplení, což sebou může nést riziko kondenzace vodní páry ve skladbě), statický návrh konstrukce (akustické prvky znamenají další zatížení nosné konstrukce střechy) apod.

U standardních obytných staveb docílíme dobré prostorové akustiky instalací textilních závěsů, vyplněním prostoru větším množstvím nábytku (ideální je například knihovna) a použitím koberce alespoň na části podlahy. Také interiéry obytných místností je možno doplnit lokálními akustickými tělesy, která se umísťují na strop nebo podlahu.

U speciálních staveb, jakými jsou například koncertní sály pro vážnou hudbu, se požadavkům prostorové akustiky podřizuje celé konstrukční řešení stavby včetně volby tvaru a rozměrů celého sálu. Následně je potom takový prostor doplněn akusticky odrazivými a pohltivými plochami pro zajištění dokonalého zážitku z koncertu pro všechny místa v hledišti.

Při návrhu zvukopohltivých úprav v interiéru je nutné nejen správně navrhnout jejich množství ale také vhodné rozmístění v prostoru. Proto je nutné, aby tyto návrhy zpracovával specialista v oboru akustika. Na následujících obrázcích je uvedeno několik zdařilých realizací vnitřních prostorů z hlediska prostorové akustiky.



Obr. 25 - Tělocvična s důsledně řešenou prostorovou akustikou – obklady na stěnách i stropu (zdroj: [www.soundreduction.co.uk](http://www.soundreduction.co.uk))



Obr. 26 - Bazénová hala – prostorová akustika řešena pomocí akustických těles (zdroj: [www.planex-gmbh.de](http://www.planex-gmbh.de))



Obr. 27 - Školní učebny s instalovaným zvukopohltivým podhledem (zdroj: [www.armstrong.cz](http://www.armstrong.cz))



Obr. 28 - Koncertní sál se stěnovými obklady a plovoucími akustickými tělesy (zdroj: [www.indesignlive.asia](http://www.indesignlive.asia))



### 4.3 Hluk uvnitř a v okolí staveb

Současné životní prostředí lidí je zatíženo stále větší intenzitou hluku. Jedná se hlavně o hluk z dopravy a hluk ze stacionárních zdrojů (průmysl, technické vybavení budov). Je prokázáno, že dlouhodobý pobyt lidí v nadměrně hlučném prostředí vede ke zdravotním obtížím. Z toho důvodu jsou v evropské i české legislativě zakotveny tzv. hygienické limity hluku (v současnosti platné nařízení vlády NV 272/2011 Sb.), které je nutno dodržovat. Tyto limity jsou rozdílné pro denní a noční dobu.

Hygienické limity hluku se sledují v **chráněných vnitřních prostorech staveb** (obytné a pobytové místnosti s výjimkou staveb pro individuální rekreaci). Jejich splnění by mělo být zajištěno vhodným návrhem vnitřních i obvodových konstrukcí z hlediska zvukové izolace (viz kap. 4.1.).

Pro obytné stavby (rodinné domy, bytové domy), školy a zdravotnické stavby s lůžkovými pokoji platí navíc hygienický limit hluku vztahující se k tzv. **chráněnému venkovnímu prostoru stavby**. Konkrétně se jedná o pomyslný bod ve vzdálenosti 2 m od fasády objektu, přesněji od středu okenní výplně v obvodové stěně, ve kterém se limit hluku kontroluje (výpočtem nebo měřením). To v praxi znamená, že pokud je tento limit hluku v lokalitě překročen (například dopravním hlukem) je velmi obtížné tento typ staveb (obytné domy, školy, zdravotnictví) v lokalitě postavit. Hluk před fasádou lze totiž většinou jen složitě ovlivnit samotným návrhem stavby. Druhý aspekt, který v sobě tento limit hluku skrývá je, že pokud má být realizována nová stavba v blízkosti objektů, na které se limit hluku v chráněném venkovním prostoru stavby vztahuje (obytné domy, školy, zdravotnictví), je nutné zajistit aby hluk z této novostavby limity nepřekročil u staveb už stojících.

Obdobná situace platí pro další typ hygienického limitu hluku, který se vztahuje k tzv. **chráněným venkovním prostorům**. Jedná se o nezastavěné pozemky určené k rekreaci, sportu, léčení a výuce. Splnění požadovaného limitu hluku je možné dosáhnout pouze omezením zdroje hluku, nebo návrhem účinných protihlukových opatření, např. protihlukové clony.

Další pečlivě sledovanou oblastí z hlediska ochrany obyvatel před nadměrným hlukem a vibracemi je **pracovní prostředí**. Sledováno je plnění požadavků na maximální hlučnost na pracovišti, které je doplněno o nutnost použití ochranných pomůcek pro ochranu sluchu.

Splnění hygienických limitů hluku je z hlediska orgánu ochrany veřejného zdraví (krajské hygienické stanice – KHS) sledováno již v projektové přípravě stavby. **Ze strany KHS je v jednotlivých stupních stavebního řízení vyžadováno zpracování hlukové studie. Po realizaci stavby je nutno pro kolaudační řízení splnění hygienických limitů hluku doložit měření hluku, které vždy provádí akreditovaná laboratoř.**

#### Hluk technického vybavení ve vnitřním prostoru staveb

V každé budově jsou umístěny prostory vybavené technologickým zařízením. Jedná se o výtahy, strojovny vzduchotechniky nebo chlazení, domovní kotelny, předávací stanice, garáže atd. Tyto prostory a jejich vybavení jsou potenciálním zdrojem hluku pro zbytek objektu.

Nejčastějším zdrojem hluku v bytových domech jsou výtahové šachty umístěné v přímém sousedství (přes stěnu) s bytovými jednotkami, pohony garážových vrat ve společných garážích domu a domovní kotelny. Méně časté jsou v bytových domech strojovny vzduchotechniky. V případě polyfunkčních domů, kde nižší podlaží slouží jako komerční prostory a vyšší podlaží jsou určeny k bydlení se můžeme setkat také se strojovnou vzduchotechniky přímo sousedící s byty.

Správné umístění výtahu v bytových domech je z hlediska rizika šíření hluku asi to nejdůležitější, a proto je této problematice věnována samostatná technická norma ČSN 27 4210. Nevhodné řešení dispozice bytového domu z hlediska umístění výtahu je uvedena na obr. 29.

Samostatným problémem je přítomnost restauračního zařízení nebo hudebního klubu v suterénu obytného objektu. V těchto případech je eliminace šíření zejména nižších kmitočtů z hudební produkce velice složitá. Ideální je tyto typy provozů do jednoho objektu vůbec neslučovat.

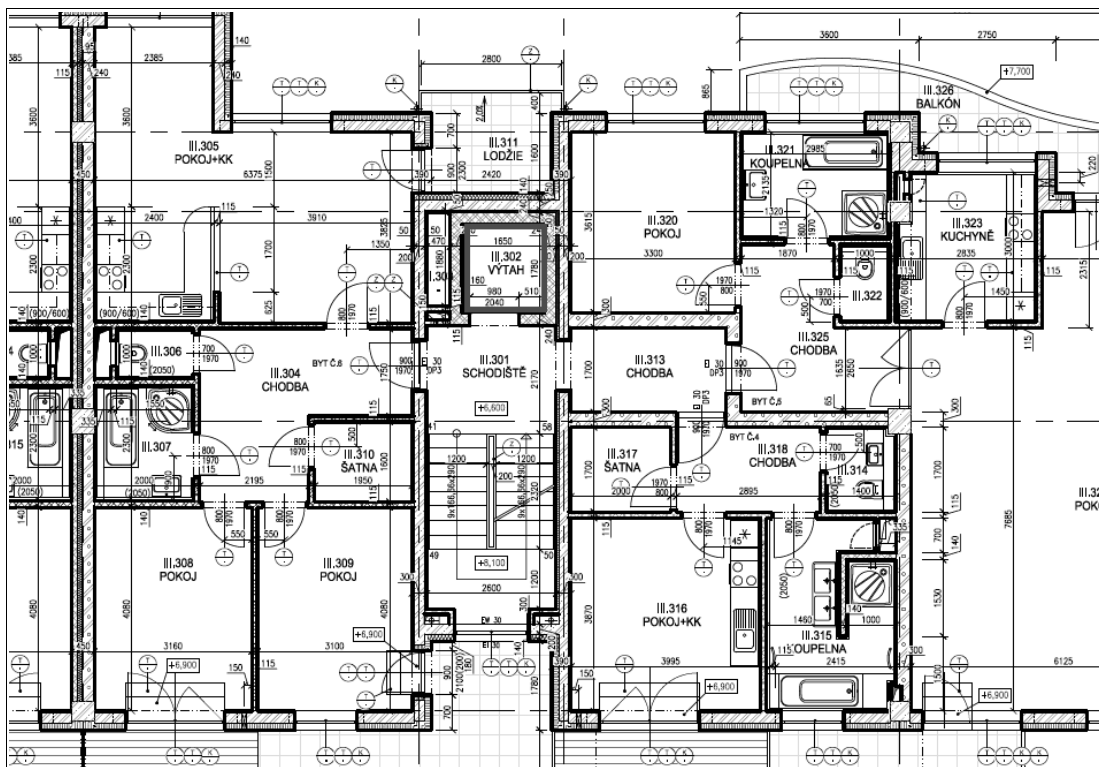
Nežádoucím zdrojem hluku uvnitř budovy není pouze centrální technologické vybavení domu, ale také hluk technického vybavení umístěného přímo v chráněných vnitřních prostorech domu. Jedná se o nástěnné kotle, lokální klimatizační jednotky, ventilátory, podlahové konvektory, čerpadla, vodovodní baterie a další drobnější technické vybavení.

V dispozičním uspořádání obytných jednotek je možné se často setkat například s chybně umístěným plynovým kotlem, který poté svým provozem ruší uživatele bytu. Plynové kotle bývají často umístěny v koupelnách, ve skříních na chodbách a v dalších prostorech, které k tomu nejsou primárně určeny a velmi často přímo sousedí s ložnicemi nebo dětskými pokoji. Většina plynových kotlů je zavěšena na zeď, čímž hrozí také riziko šíření hluku konstrukcí.

Zvláštním zdrojem hluku jsou vodovodní baterie, které zejména v podomítkovém provedení bývají často zdrojem hluku, který se šíří konstrukcí na velké vzdálenosti. Při zpracování projektové dokumentace není

možné opomenout ani hluk z dopadající vody do vany, hluk vody proudící v rozvodech umístěných ve stěnách, případně hluk ze splachování toalety apod.

Velkou nepříjemností je také pokud koupelna bytu s nevyřešenými akustickými problémy je v přímém sousedství s obytnou místností dalšího bytu. Těchto dispozičních řešení je nutné se v rámci zpracování projektové dokumentace vyvarovat.



Obr. 29 - Příklad nevhodného umístění výtahové šachty v bytovém domě. Výtah je v těsném sousedství s obytnou místností bytu

### Hluk ve venkovním prostoru

Projektant nebo stavebník se může z hlediska hluku ve venkovním prostředí setkat se dvěma situacemi:

- plánuje novostavbu objektu, na který se vztahuje hygienický limit pro venkovní chráněný prostor stavby (obytné domy, školy, zdravotnictví) a je nucen prokázat, že v lokalitě určené ke stavbě jsou předpoklady k tomu, že po realizaci novostavby nebude limit překročen.
- plánuje novostavbu objektu, který je zdrojem hluku (průmyslová stavba, prodejna, autoservis apod.) a nachází se v blízkosti už stojících chráněných staveb (obytné domy, školy, zdravotnictví) a je nucen prokázat, že po realizaci této stavby nebude limit překročen u nejbližších již stojících chráněných budov.

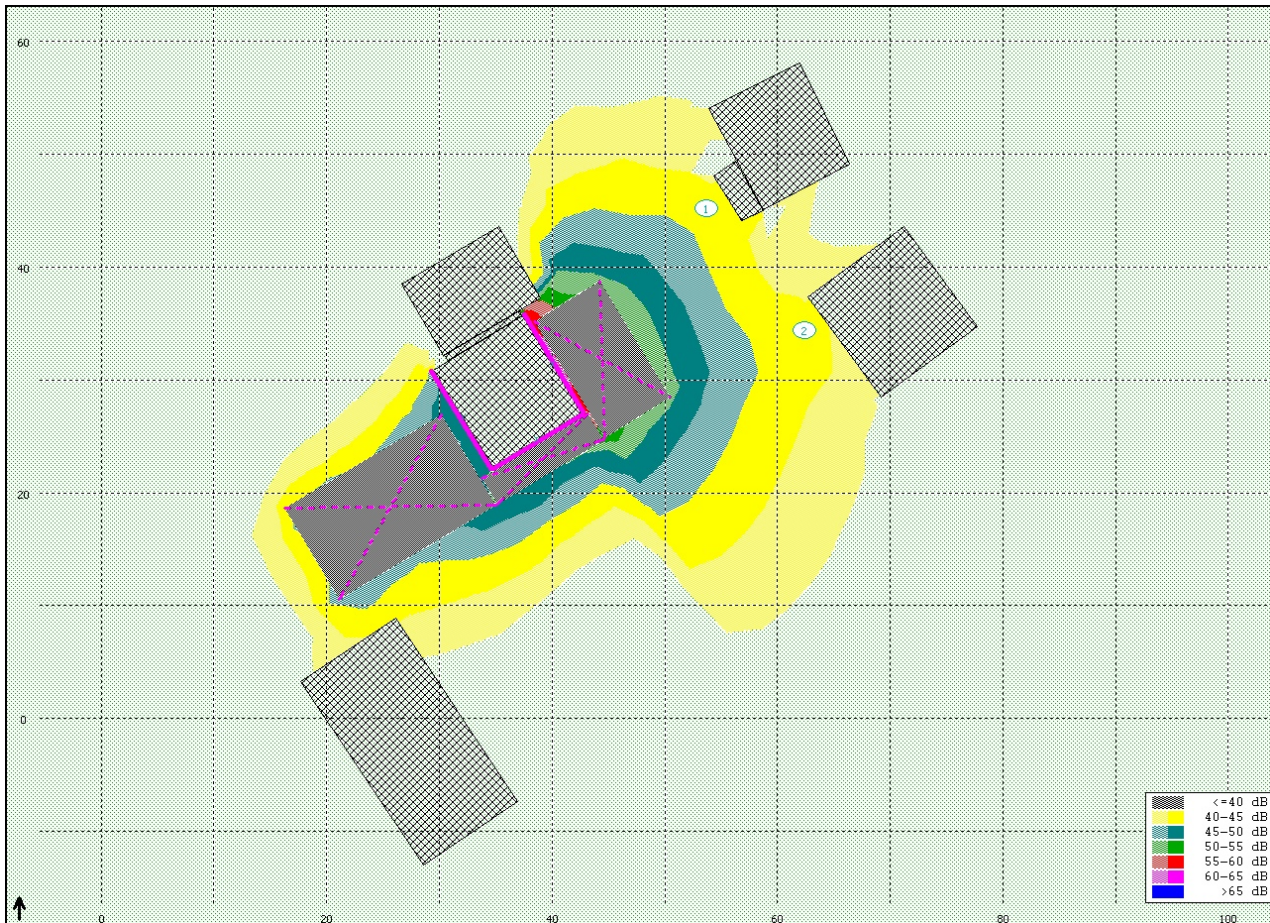
V obou případech je nutné vypracovat hlukovou studii, která bude součástí stavební dokumentace. Nejčastěji už ve stupni pro územní řízení.

Pro první případ, kdy se hlukovou studií prokazuje, že je možno chráněnou stavbu v lokalitě umístit, se hluk ve venkovním prostoru (nejčastěji se jedná o hluk z dopravy) stanovuje obdobně jako v případě návrhu obvodových konstrukcí z hlediska zvukové izolace (viz kap. 4.1.2) :

- odečtem z dopravní hlukové mapy pro denní (6:00-22:00) a noční dobu (22:00-6:00). Hlukové mapy jsou dostupné pouze pro centra větších měst (Praha, Brno, Ostrava), případně pro okolí vybraných úseků dálnic nebo železničních koridorů
- výpočtem na základě informací o intenzitě dopravy v lokalitě (auta, tramvaje)
- měřením hluku na místě samotném v časové sondě několika hodin a následným dopočítáním celkového hluku pro denní a noční dobu (častý postup v případě železniční dopravy, případně při hluku ze stacionárních zdrojů)
- měřením hluku po celou denní a noční dobu

Ve druhém případě, kdy je hlukovou studií nutno obhájit, že vlivem nové stavby nebudou překročeny limity hluku u stávající zástavby, se postupuje výhradně výpočtovým posouzením. Pro tento typ výpočtů existuje řada výpočetních programů.

Na obr. 30. je znázorněno očekávané šíření hluku z provozu autoservisu, který stavebník plánuje provozovat v centru obce. V tomto případě se jednalo o posouzení hluku šířícího se do okolí skrz obvodové konstrukce, hluk ze stacionárních zdrojů (vzduchotechnické jednotky na fasádě) a hluk z vyvolané dopravy (zákazníci autoservisu). Závěrem studie bylo, že provoz autoservisu v denní době je možný pouze za podmínky trvale uzavřených hlavních vrat a oken při práci na vozidlech. Větrání vnitřních prostor tedy muselo být zajištěno nuceně vzduchotechnikou, nikoliv přirozeně otevíráním oken.



Obr. 30 - Příklad výpočetního výstupu ze softwaru Hluk+ sloužícího k výpočetnímu posouzení šíření hluku ve venkovním prostředí.

## 5 Osvětlení a oslunění

Dostatečné množství světla, případně slunečních paprsků v interiéru je jedním ze základních požadavků na prostory určené k pobytu lidí. Správným typem a úrovní osvětlení musí být vytvořeny podmínky zdravé zrakové pohody a dobrého vidění pozorovaných předmětů. Zajištěním osvětlení vnitřních prostor je nutné zabránit vzniku předčasné únavy a předejít možnosti úrazu z důvodu špatného vidění.

**Denní světlo** v interiéru je kombinací přímé sluneční radiace, oblohového světla a odrazného světla.

**Umělé světlo** v interiéru je kombinací přímého umělého světla z osvětlovací soustavy a odrazného světla.

**Oslunění** znamená přímý dopad slunečních paprsků do oken bytu nebo rodinného domu, případně na pozemky v okolí obytných budov, které slouží k rekreaci. U ostatních typů staveb, nebo venkovních ploch se úroveň oslunění nesleduje.

### 5.1 Denní osvětlení

Vyhovující denní osvětlení musí mít vnitřní prostory určené pro trvalý pobyt lidí během dne. **Trvalý pobyt lidí** je pobyt ve vnitřním prostoru, nebo jeho funkčně vymezené části, který trvá v průběhu jednoho dne (za denního světla) déle než 4 hodiny a opakuje se při trvalém užívání budovy více než jednou týdně.

**V nově navrhovaných budovách musí mít vždy vyhovující denní osvětlení:**

- obytné místnosti bytů
- ložnice a pokoje zařízení pro dlouhodobé ubytování (domovy mládeže, koleje, ubytovny) a pro dlouhodobou rekreaci (lázeňské domy, zotavovny)
- denní místnosti zařízení pro předškolní výchovu
- učebny škol kromě speciálních učeben a poslucháren (viz ČSN 73 0580-3)
- vyšetřovny a lůžkové místnosti zdravotnických zařízení
- místnosti pro oddech a jídelny, určené pro uživatele vnitřních prostorů bez denního světla

Konkrétní požadavky na denní osvětlení se pro jednotlivé typy vnitřních prostor určují na základě zrakových činností, pro které jsou prostory určeny a kterým denní osvětlení slouží. Tyto požadavky jsou uvedeny v souboru norem ČSN 73 0580–2, 3, 4.

Denní osvětlení v místnosti se standardně ověřuje výpočtem, případně měřením pomocí luxmetru, na což jsou ale třeba specifické klimatické podmínky a přesnost není obvykle vyšší než u výpočtu.

Úroveň denního osvětlení je hodnocena výpočtem v síti kontrolních bodů umístěných rovnoměrně v místnosti ve výšce 0,85 m nad podlahou, což je přibližně výška běžného stolu.

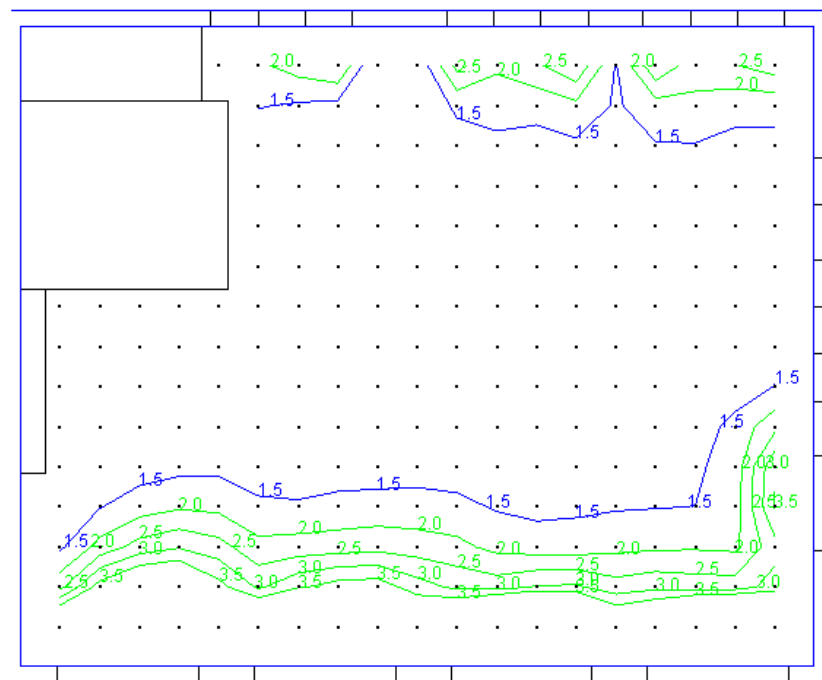
Úroveň denního osvětlení se udává **činitelem denní osvětlenosti D**, který je definován podílem osvětlenosti v kontrolních bodech v místnosti E [lux] a osvětlenosti venkovní nezacloněné roviny E<sub>h</sub> [lux]. Vyjadřuje se v procentech.

$$D = \frac{E}{E_h} * 100 [\%]$$

Jsou-li určité zrakové činnosti omezeny jen na část vnitřního prostoru, může se odstupňovat denní osvětlení **funkčně vymezených částí vnitřního prostoru** podle příslušných zrakových činností. To je využíváno zejména při posuzování kancelářských prostorů, kde jsou přesně stanoveny jednotlivé pracovní místa. Pro obytné místnosti toto neplatí. V obytných místnostech se hodnotí minimální a průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti ve dvojici bodů umístěných v polovině hloubky místnosti (nejdále 3 m od okna). Funkční vymezení prostoru se u obytných místností neuplatňuje.

Na obr. 31. je uveden příklad výpočetního posouzení denního osvětlení v kancelářském prostoru. Pro tento typ zrakové činnosti je požadováno splnění podmínky  $D \geq 1,5 \%$ . Oblast s vyhovujícím denním osvětlením je na obr. 31. vyznačena modrou linií (izofotou). Pracovní místa je tedy možné umístit pouze do funkčně vymezených částí místnosti u oken. Pokud by byl vznesen požadavek uživatele kancelářských prostor na větší využití prostoru, bylo by nutné provést návrh tzv. sdruženého osvětlení. Poté by kombinací denního a umělého osvětlení byly pro danou zrakovou činnost splněny požadavky na osvětlení ve větší ploše místnosti.

**Sdružené osvětlení** v interiéru je zajištěno denním osvětlením s doplňujícím umělým osvětlením a využívá se ho při problémech se splněním požadavků na denní osvětlení. Případy, kdy lze použít sdružené osvětlení, vymezuje ČSN 36 0020. Tento typ osvětlení při dlouhodobém působení není z hlediska vlivu na člověka rovnocenný v plném rozsahu dennímu osvětlení, ale je podstatně příznivější, než osvětlení pouze umělé. Vnitřní prostory bez denního světla s pobytem lidí se řídí hygienickými předpisy.



Obr. 31 - Příklad výpočetního výstupu ze softwaru Wdls pro posouzení denního osvětlení

Výše uvedený náhled do problematiky denního osvětlení se týkal novostaveb, případně prostorů, ve kterých dochází ke změně využití. Důležité je také **posouzení vlivu nově plánovaných staveb na denní osvětlení vnitřních prostorů budov, které už stojí**. V těchto případech se hodnotí činitel denní osvětlenosti roviny zaklení z vnější strany. Pokud tedy plánujeme výstavbu budovy v blízkosti již stávajícího domu s požadavky na denní osvětlení ve vnitřním prostoru, neprovádíme výpočtové hodnocení denního osvětlení uvnitř objektu, ale provádíme výpočet osvětlenosti fasády. Výpočtem zjištěné hodnoty osvětlení fasády původních budov se porovnávají s požadavky v ČSN 73 0580-1.

## 5.2 Umělé osvětlení

Instalace osvětlovací soustavy pro umělé osvětlení je automatickou součástí téměř každé místnosti v budovách. Na základě způsobu využití a typu činností v jednotlivých vnitřních prostorech staveb jsou stanoveny požadavky, které by osvětlovací soustava měla splňovat. Tyto požadavky jsou souhrnně shrnuty v ČSN EN 12464-1.

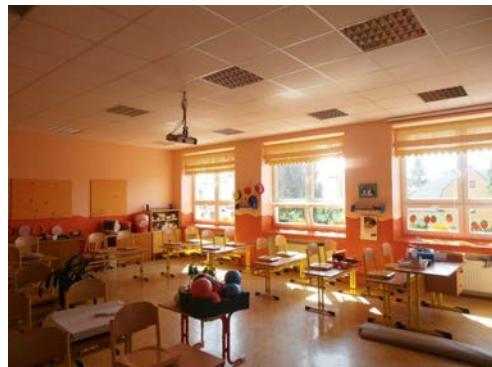
Hodnocení umělého osvětlení se provádí pomocí výpočetního softwaru, případně měření. Výpočtem se pro jednotlivé místnosti hodnotí tyto parametry:

- osvětlenost na srovnávací rovině  $\bar{E}_m$  [lux]
- maximální mezní hodnoty indexu oslunění  $UGR_L$  [-]
- rovnoměrnost osvětlení  $U_0$  [-]
- indexy podání barev  $R_a$  [-]

Na obr. 32 je zachycen vnitřní prostor učebny základní školy. Umělé osvětlení je zde řešeno pomocí vestavných svítidel se čtyřmi lineárními zdroji (zářivky). Základní požadavky na osvětlenost tohoto typu prostoru jsou:

- $\bar{E}_m \geq 300$  lux
- $U_0 \geq 0,60$
- $UGR_L \leq 19$
- $R_a \geq 80$

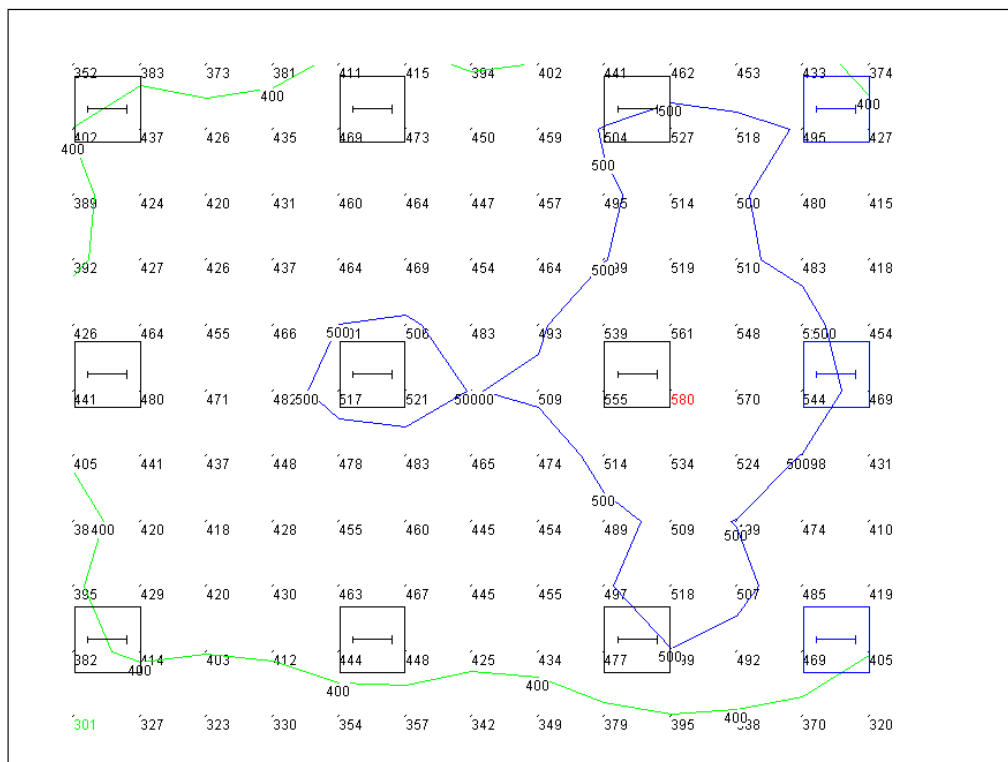
Všechny stanovené požadavky daný prostor učebny splňuje (viz obr. 33 - osvětlenost kontrolních bodů v luxech).



Obr. 32 - Učebna ZŠ



Horizontální: Emin: 300.6 Em: 450.1 Emax: 579.7 R=Emin/Emed: 0.67 Z: 0.73



Obr. 33 - Příklad výpočetního výstupu ze softwaru WILS pro posouzení umělého osvětlení – osvětlenost kontrolních bodů v luxech – linie znázorňují průběh izofoty 400 lux a 500 lux

### 5.3 Oslunění

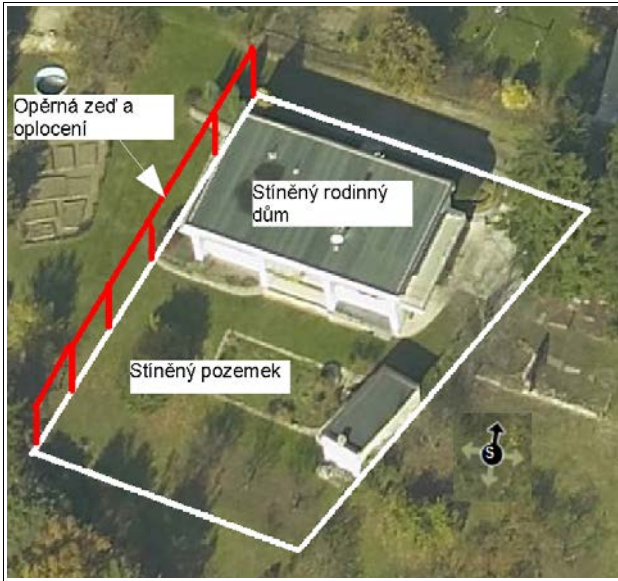
Dostatečně osluněné interiéry působí na obyvatele pozitivně a navozují lidem dobrou náladu. Byt s přístupem přímého slunečního záření vzbuzuje pocit zdravého a příjemného prostředí na rozdíl od prostor bez přístupu slunce. Z těchto důvodů musí být podle platné legislativy (ČSN 73 4301) všechny obytné jednotky navrženy a realizovány tak, aby byly jejich okenní výplně v obytných místnostech vystaveny přímému slunečnímu záření.

Minimální doba, po kterou musí být rodinný dům či byt vystaven přímému slunečnímu záření, je 90 minut. U bytu musí být vystaveny slunečnímu záření okenní výplně obytných místností s podlahovou plochou o velikosti minimálně třetiny z celkové podlahové plochy. U rodinných domů, dvojdomů a koncových řadových domů s podlahovou plochou o velikosti minimálně poloviny z celkové podlahové plochy.

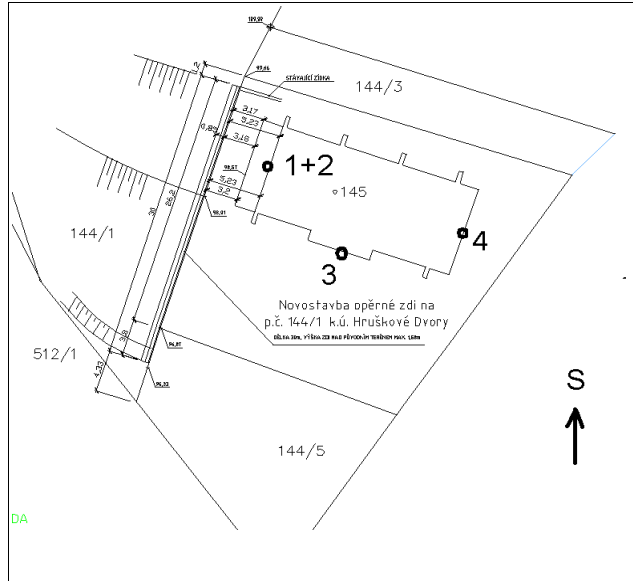
Dále legislativa stanovuje minimální rozměr okna, kterým mohou vnikat sluneční paprsky do interiéru. Okna v obvodových stěnách mají nejmenší rozměr 0,9 m, střešní okna 0,7 m a jejich plocha musí být minimálně desetina podlahové plochy místnosti. Výpočet se provádí pro dráhu slunce odpovídající 1. březnu. Oslunění není možno měřit a u již realizovaných staveb se také hodnotí výpočtem.

Česká legislativa pamatuje také na oslunění pozemků. Pozemky v okolí obytných budov slouží k rekreaci a odpočinku obyvatel. Z toho důvodu pro pozemky v okolí obytných budov sloužících k rekreaci jejich obyvatel je nutno dodržet podmínku oslunění minimálně jedné poloviny plochy pozemku po dobu minimálně 3 hodin. Posouzení se provádí výpočtem pro dráhu slunce odpovídající 1. březnu.

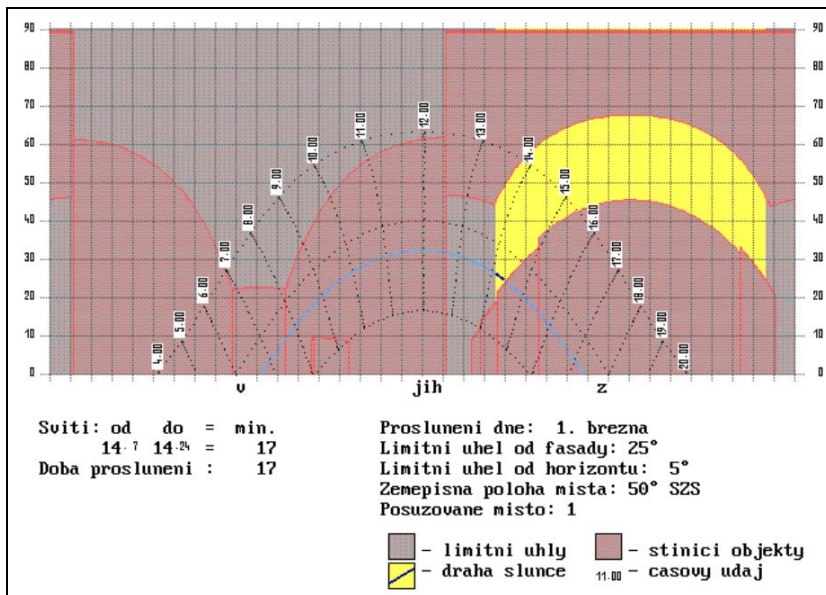
Na následujících obrázcích je uveden příklad posudku, ve kterém byl řešen vliv stavby zdi a oplocení na západní hranici pozemku rodinného domu na oslunění obytných prostor tohoto domu a na oslunění pozemku. Z orientace domu ke světovým stranám a z umístění nové zdi je patrné, že kritickými body pro posouzení oslunění rodinného domu budou výpočtové body 1 a 2 (viz obr. 35). Při posouzení oslunění bodu 1 (obývací pokoj v 1.NP) byl vlivem nové zdi zjištěn nevyhovující stav pro tuto místnost (viz obr. 36). I přesto je však rodinný dům jako celek z hlediska oslunění nadále vyhovující, neboť podmínkou pro splnění požadavků pro rodinné domy je vyhovující oslunění nejméně jedné poloviny obytných místností (viz výše) a to bude zajištěno vyhovujícím osluněním v bodech 2, 3 a 4. Pozemek rodinného domu bude po provedení zdi na západní hranici pozemku nadále zcela vyhovující (viz obr. 37).



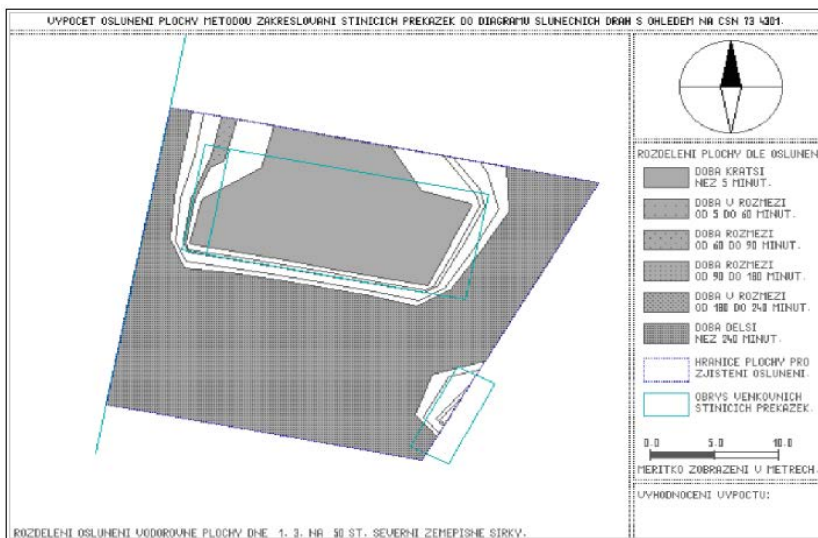
Obr. 34 - Situace



Obr. 35 - Situace, včetně umístění výpočetních bodů



Obr. 36 - Grafický výstup posouzení oslunění výpočtového bodu 1 – obývací pokoj v 1.NP



Obr. 37 - Grafický výstup posouzení oslunění pozemku

## 6 Diagnostika staveb

Obor diagnostika staveb už ve svém názvu naznačuje, že se jedná o specializovanou oblast činností, kterými jsou hledány (diagnostikovány) příčiny stavebních poruch budov. Zjednodušeně lze pro tento stavební obor nalézt srovnání s postupem lékaře, který ve chvíli, kdy stanovuje pacientovi diagnózu používá výsledky různých typů vyšetření a odběrů. V našem případě jsou pacienty budovy a pro stanovení příčin jejich poruch využíváme tzv. diagnostické metody.

Mezi nejběžněji využívané diagnostické metody z hlediska stavební fyziky patří:

- termovizní snímkování
- test vzduchotěsnoti – BLOWER DOOR TEST
- měření parametrů vnitřního prostředí
- akustická měření

Obor diagnostika staveb má své nezastupitelné uplatnění nejen při hledání příčin poruch staveb v rámci reklamačních řízení, ale také při kontrole kvality odvedené práce stavebních firem.

### 6.1 Termovizní snímkování - termodiagnostika

Termodiagnostika je nedestruktivní metoda pro stanovení povrchových teplot na stavebních konstrukcích. Využívá měření intenzity infračerveného záření (dále IČ záření, někdy se také používá „IR“ z anglického „infra red“), které uvedené subjekty vyzařují. Pro tyto účely se používají snímací zařízení IČ záření, mezi které patří zejména termografické kamery.

V předchozím odstavci bylo záměrně řečeno, že termodiagnostika je metoda pro „stanovení“ a nikoliv „měření“ povrchových teplot, jak se obvykle používá. Termovizní kamery neměří povrchové teploty, ale výsledná povrchová teplota je kamerou dopočítávána. Samotné pořízení termografické kamery bez hlubší znalosti principů šíření IČ záření, přenosu tepla, stavebně fyzikálních zákonů a konstrukčních a materiálových principů vede obvykle k nepřesným stanovením povrchových teplot a chybným závěrům.

Výsledkem práce s termografickou kamerou je obvykle termogram (termovizní snímek nebo tepelný obraz), což je obrázek, ve kterém je barvám přiřazena určitá teplota (viz příloha P1).



Obr. 38 - Standardní typ ruční termovizní kamery užívaný ve stavební praxi

Termovizní kamerou se stanovují povrchové teploty objektů a konstrukcí. Kamerou nelze „vidět“ skrz jakékoliv konstrukce. Na termovizních snímcích je vpravo vždy stupnice s přiřazenými barvami k °C. Měření termovizní kamerou je možné provádět jak z interiéru, tak z exteriéru objektu.

V případě měření fasády z exteriéru v chladném období, kdy je vysoký tepelný tok z interiéru do exteriéru, je za dobrý stav považována teplota fasády blízká teplotě okolního vzduchu. V místě tepelných mostů je vnější povrchová teplota vyšší než v charakteristickém výseku konstrukce (viz P3). **Měření je nutné provádět v nočních hodinách** (ideálně v časných ranních hodinách před východem slunce).



V případě měření povrchových teplot konstrukcí v interiéru, kdy je tepelný tok z interiéru do exteriéru (rozdíl teplot alespoň 10°C), je za dobrý stav považována vnitřní povrchová teplota konstrukcí blízká se teplotě vzduchu v místnosti. V místě tepelných mostů je povrchová teplota nižší než v charakteristickém výseku konstrukce (viz P4).

Povrchové teploty zobrazené na termogramech jsou ovlivněny odrazem okolních objektů. Míra vlivu odrazu stoupá s klesající emisivitou povrchů. V rámci jednoho termogramu se mohou vyskytovat povrchy s různou emisivitou (sklo, omítka, plech, plast apod.) a také odražená teplota se může měnit v závislosti na okolních objektech a úhlu snímání (při měření z exteriéru se může odrážet např. protější objekt nebo obloha). Proto není možné v rámci jednoho termogramu porovnávat povrchové teploty povrchů s odlišnou emisivitou a s odlišnou odraženou teplotou.

**Z termogramů nelze hodnotit kvalitu skleněných výplní oken a dveří.** Sklo má nižší emisivitu než např. omítka, beton apod., tzn. odráží větší množství infračerveného záření. Proto se často v oknech „zrcadlí“ okolní objekty, které vyzařují infračervené záření (viz P2). Povrchové teploty zobrazené na oknech a na omítce či jiných površích nelze přímo porovnávat. Okna je možné v určitých případech porovnávat mezi sebou. To je pouze v případech, kdy se v nich odráží plochy se stejnou teplotou, tj. stejná protější budova nebo stejná část oblohy (porovnávaná okna jsou vedle sebe a teplota vzduchu za nimi v interiéru je shodná).

Vnější povrchové teploty jsou také ovlivněny sáláním tepla mezi konstrukcemi měřeného objektu a oblohou, která má nižší teplotu. K tomuto jevu dochází přirozeně a jeho vliv se zvětšuje s tím, jak je konstrukce vzhledem k obloze cloněna a jak je obloha jasná. Proto lze na některých termogramech pozorovat vliv „odclonění“ částí fasády střechou nebo jinou částí objektu. Nejedná se o vadu konstrukce, ale na termogramech budou patrné rozdíly v teplotách. To může být neodborně vyhodnoceno jako tepelný most.

Každý termovizní protokol musí být vždy doplněn o informaci o teplotě vzduchu v interiéru, relativní vlhkosti vzduchu v interiéru a o teplotě vzduchu v exteriéru v době měření. Bez těchto informací jsou termovizní snímky bezcenné.

Z naměřené teploty venkovního vzduchu, teploty vnitřního vzduchu a vnitřní povrchové teploty stanovené termovizní kamerou je možné postupem dle kap. 2.2.2. stanovit teplotní faktor vnitřního povrchu posuzovaných konstrukcí  $f_{Rsi}$ . Jelikož je hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  neměnná v závislosti na okrajových podmínkách **je tímto způsobem možné hodnotit riziko růstu plísní a riziko orosování na vnitřním povrchu vzduchotěsných konstrukcí.** Nevzduchotěsné konstrukce a detaily, kde je snižená povrchová teplota způsobena prouděním vzduchu z exteriéru do interiéru netěsnostmi, takto hodnotit nelze. Dále je nutno zmínit, že se nejedná o naprosto průkazné hodnocení v souladu s požadavky ČSN 73 0540-2 (viz kap. 2.2.1). To je možné provést jen výpočtem teplotního pole 2D nebo 3D detailu.

Z výše uvedeného je patrné, že termovizní diagnostika je složitější disciplínou než by se na první pohled mohlo zdát. **Proto je nutné, aby termovizní diagnostiku staveb vždy prováděl technik se stavebním vzděláním a s rozsáhlými zkušenostmi s termovizním měřením.**

## 6.2 Test vzduchotěsnosti – BLOWER-DOOR TEST

BLOWER-DOOR TEST patří mezi nedestruktivní diagnostické metody a slouží k určení průvzdušnosti obálky budov nebo její části metodou tlakového spádu. Metod stanovení průvzdušnosti obálky budov existuje více, ale metoda blower door patří v České republice mezi nejpoužívanější, a proto bude v této publikaci řeč pouze o této metodě.

Při blower door testu se využívá uměle vytvořeného tlakového rozdílu (ventilátorem) mezi interiérem budovy nebo její části a okolím. Přitom se sleduje množství vzduchu, které by bylo třeba pro udržení určitého tlakového rozdílu mezi interiérem a exteriérem měřeného prostoru. Je jasné, že u méně vzduchotěsných prostorů je třeba více vzduchu.

Mocným diagnostickým nástrojem pro odhalování lokálních netěsností je kombinace použití blower door testu s termodiagnostikou. Je třeba si uvědomit, že termodiagnostikou za přirozených tlakových podmínek se detekují místa s odlišným prostupem tepla (tepelné mosty) a metodou blower door se detekují místa s nedostatečnou vzduchotěsností. Takže teprve při kombinaci obou metod lze získat ucelené tepelnětechnické informace o stavu a provedení konstrukcí.



Obr. 39 - Standardní zařízení blower door s jedním ventilátorem



Obr. 40 - Zařízení blower door se sestavou tří ventilátorů určené pro měření větších objektů

V České republice se vzduchotěsnost hodnotí jako intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi interiérem a exteriérem, viz kap. 2.4. Doporučené hodnoty  $n_{50,N}$  dle ČSN 73 0540-2 jsou uvedené v tab. 5. Hodnoty se vztahují ke způsobu větrání měřeného prostoru a metodě stanovení hodnoty  $n_{50}$ . Metody a způsob vyhodnocení jsou zavedeny ve zkušební normě ČSN EN 13829, která rozlišuje dvě metody měření, přičemž požadavky dle tab. 5 se vztahují na hodnoty stanovené metodou B. Pro případy, kdy je měření BLOWER DOOR TEST požadováno jako jedna z podmínek pro získání dotace (např. pro stavbu pasivního domu), je nutné si ověřit v podmínkách dotačního titulu, která z metod je požadována.

Metody pro měření vzduchotěsnosti dle ČSN EN 13829:

- **Metoda A** (měření prostoru v provozním stavu, tzn. v běžném provozu, kdy je objekt vytápěn nebo chlazen). Před měřením se provedou pouze základní opatření jako uzavření výplní otvorů, větracích klapek apod. Žádná z těchto konstrukcí se nezalepuje. Utěsněn bude pouze systém vzduchotechniky. Měření metodou A provádíme na již zcela dokončeném objektu.
- **Metoda B** (měření obálky domu). Před měřením se vzduchotěsně utěsní všechny otvory v obálce měřeného prostoru, kterými může docházet k proudění vzduchu a které nesmí ovlivnit měření. Především se jedná o větrací klapy pro přirozené větrání, komínová tělesa, kanalizaci, vodovodní potrubí, podlahové vpustě apod. Utěsněn bude stejně jako u metody A také systém vzduchotechniky. Před měření metodou B se neutěsňují rozvody elektroinstalace, poklapy na půdu a další prvky, které jsou trvalou součástí obvodového pláště vytápěného prostoru domu, případně bytu. Měření metodou B je možné provést na zcela dokončeném objektu, ale také na objektu rozestavěném ve fázi, kdy je hotová hlavní vzduchotěsnicí vrstva (omítky, parozábrany). To je vhodné zejména z toho důvodu, že nalezené netěsnosti je možné v tomto stádiu stavby ještě jednoduše opravit.

V závislosti na použité měřicí metodě (A nebo B) se provede vhodná příprava objektu pro měření, tak jak je uvedeno výše. U obou metod se před měřením otevřou všechny vnitřní dveře, uzavřou se všechna okna a vstupní dveře, vypnou se spalovací spotřebiče (kamna, krbý, sporáky apod.) a vypnou se systémy VZT. Pokud nelze z provozních nebo technologických důvodů VZT zařízení vypnout, zváží se měření se zapnutým systémem, ale s nastavením zařízení blower door dle pokynů výrobce pro tyto situace (některé systémy to nemusí umožňovat). Při použití metody A je třeba důkladně vyčistit komíny krbů, aby při podtlaku nedošlo k nasátí sazí do interiéru. Samotné měření se potom nejběžněji provádí dvakrát za podtlaku a dvakrát za přetlaku. Výsledná hodnota  $n_{50}$  je stanovena jako průměr z lepšího výsledku měření při podtlaku a lepšího z výsledků měření při přetlaku. Při měření nesmí foukat vítr ( $> 6$  m/s), výsledky by mohly být velmi výrazně ovlivněny.

Nedílnou součástí měření průvzdušnosti by vždy mělo být hledání významných nevzduchotěsností. Metod odhalování, u kterých lze využít zařízení blower door, je více a každá má svá specifika a žádná není univerzální. Přesné stanovení množství vzduchu, které určitou netěsností proudí (kvantitativní metody), je při měření na stavbě velice problematické. Použitelné metody vyžadují nadstandardní přesnost jak měřicích

zařízení, tak také obsluhy a i tak může jejich nejistota přesahovat měřený parametr. Nejčastěji používané jsou tedy kvalitativní metody, kterými je možno zjistit a lokalizovat netěsná místa, není ale možné určit množství proudícího vzduchu.

Mezi nejběžněji využívané metody pro hledání netěsností patří:

- **Kouř při přetlaku v interiéru** - Při přetlaku v interiéru vytvořeným zařízením blower door je sledováno, kudy kouř z interiéru vstupuje do konstrukce, případně z exteriéru je sledováno kudy vystupuje ven.
- **Kouř při podtlaku v interiéru** - Při podtlaku v interiéru vytvořeným zařízením blower door je sledováno usměrňování kouře vlivem vzduchu proudícího netěsnostmi do interiéru.
- **Holé ruce při podtlaku v interiéru** – nejjednodušší a nejběžnější metoda. Při podtlaku v interiéru vytvořeným zařízením blower door se netěsnosti hledají přiložením holé ruky na riziková místa.
- **Anemometr při podtlaku v interiéru** - Při podtlaku v interiéru vytvořeným zařízením blower door je anemometrem měřena rychlost proudění vzduchu v netěsnostech
- **Termografie při podtlaku v interiéru** - Jedná se o nejefektivnější metodu a často využívanou metodu. V první fázi je objekt nasnímán termovizní kamerou z interiéru při běžném tlakovém rozdílu (bez použití zařízení blower door). Následně je objekt z interiéru nasnímán termovizní kamerou při podtlaku vytvořeným zařízením blower door (snímkování je provedeno cca 20-30 minut po zapnutí ventilátoru). Porovnáním snímků jsou nalezeny nevzduchotěsná místa, která se projeví výrazným prochlazením od studeného vzduchu z exteriéru (viz P5). Pro tuto metodu je nutné, aby byl rozdíl vnitřní a venkovní teploty minimálně 10°C.
- **Termografie při přetlaku v interiéru** – Jedná se o méně využívanou metodu, která je postavena na obráceném principu jako termografie při podtlaku. V první fázi je objekt nasnímán termovizní kamerou z exteriéru při běžném tlakovém rozdílu (bez použití zařízení blower door). Následně je objekt z exteriéru nasnímán termovizní kamerou při přetlaku vytvořeným zařízením blower door (snímkování je provedeno cca 20-30 minut po zapnutí ventilátoru). Porovnáním snímků jsou nalezeny nevzduchotěsná místa, která se projeví výrazným prohřátím od teplého vzduchu z interiéru.



Obr. 41 - Použití kouře při přetlaku v interiéru – kouř uniká netěsnou spárou mezi okenním rámem a okenním křídlem



Obr. 42 - Použití anemometru při podtlaku – změřena rychlost proudění vzduchu do interiéru 0,18 m/s

### 6.3 Měření parametrů vnitřního prostředí

Velmi častou situací ve stavební praxi jsou reklamace uživatelů bytů a rodinných domů na kvalitu stavebního díla z hlediska růstu plísní nebo kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu konstrukcí. Nezřídka se jedná o stav konstrukcí v takové fázi, kdy plísně na vnitřním povrchu v místnostech zabírají plochu několika metrů čtverečních.

Plísně a jejich spory uvolňované do okolního ovzduší jsou významnými alergeny. Alergie na plísně je častá hlavně u dětí a může vést až k rozvoji astmatu. Při růstu plísně produkují těkavé organické látky, které člověk často vnímá jako „plísňový zápach“. Tyto látky mohou poškozovat sliznice dýchacích cest, dráždí oči, způsobují bolesti hlavy a podráždění pokožky. Z těchto zdravotních důvodů není možné rizika růstu plísní u staveb podceňovat.

Podrobně je problematika týkající se vyloučení rizika růstu plísní u staveb vysvětlena v kap. 2.2. Při správném přístupu projektanta a stavební firmy by tedy k růstu plísní na vnitřním povrchu konstrukcí nemělo docházet. U problematiky plísní a vlhkosti uvnitř obytných budov je však také nutné zmínit vliv kvality hydroizolace staveb (často může být vlhkost stavebních konstrukcí způsobena vztláním zemní vlhkosti nebo zatékáním) a vliv obyvatel.

Obytné stavby jsou navrhovány na určité vnitřní návrhové podmínky (viz Tab. 4) a pro tyto podmínky je také v projektu posuzováno riziko růstu plísní. Velmi často se stává, že vinou obyvatel jsou tyto parametry výrazně překračovány a rozvoj plísní v domě není technickým problémem stavby, ale nezodpovědným využíváním domu obyvateli. Mezi nejčastější prohřešky uživatelů patří nedostatečné větrání a vytápění v kombinaci s vysokou produkcí vodní páry (sušení prádla, velké množství květin apod.). Na obranu uživatelů bytu je však nutno doplnit, že velmi častá je také kombinace chyb stavby a nadměrně vlhkého provozu v bytech.

Zpracování komplexního posudku pro tento typ reklamačního problému, proto nejčastěji zahrnuje termovizní snímkování problematických částí staveb, které je doplněno o vyhodnocení vnitřních parametrů v obytném prostředí. To je prováděno vždy pro období minimálně jednoho týdne. Po tuto dobu je do jedné nebo více obytných místností bytu osazeno zařízení zaznamenávající v cyklu cca po 5 minutách parametry vnitřního prostředí (vnitřní teplotu a relativní vlhkost vzduchu). Z výsledků je poté možno usoudit jakým způsobem obyvatelé byt užívají a zda tento způsob užívání bytu není v zásadním rozporu s projektovým předpokladem.

Příklad výstupu z měření v obytné místnosti je uveden v příloze P6. Z grafu je patrné srovnání projektového předpokladu vnitřní teploty (21°C - oranžová) a relativní vlhkosti vzduchu (50% - zelená) s realitou. Komplexní hodnocení měření poté vypadá takto:

Ve sledovaném prostoru (obývací pokoj) byla naměřena průměrná teplota vnitřního vzduchu vyšší než je uvažovaná teplota vnitřního vzduchu při návrhu konstrukcí dle ČSN 73 0540-2. Bylo zjištěno, že relativní vlhkost vnitřního vzduchu je v tomto obytném prostoru nejčastěji v rozmezí 55-65%. Z analýzy dat vyplynulo, že intenzivně bylo větráno v místnosti zpravidla jednou denně (ráno). V některých dnech bylo mírně větráno také večer. Intenzivní větrání je spojeno se skokovým poklesem teploty a zároveň relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Lze konstatovat, že mikroklimatické podmínky bytu byly z hlediska relativní vlhkosti vnitřního vzduchu ve sledovaném období nevyhovující a že zvýšenou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu se zvyšuje riziko vlhkostních poruch na vnitřním povrchu neprůsvitných konstrukcí.

Tab. 7 – Výsledky posouzení parametrů vnitřního prostředí obývacího pokoje – graficky viz P6

	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Požadovaná hodnota dle ČSN 73 0540-2
Teplota v interiéru [°C]	5,9	20,9	24,4	21
Relativní vlhkost [%]	28,5	57,5	73,5	50
Odpovídající teplota rosného bodu [°C]	-	12,2	-	10,2

## 6.4 Akustická měření

Akustické požadavky na zvukovou izolaci, kvalitu prostorové akustiky nebo na úroveň hlučnosti ve vnitřním a vnějším prostředí staveb, které jsou podrobně rozebrány v kap. 4, se prokazují vždy měřeními na zrealizované stavbě. V oboru akustika má tedy diagnostika (měření) nezastupitelnou roli. V následujícím textu budou popsány základní principy jednotlivých typů akustických zkoušek.

### Měření vzduchové neprůzvučnosti vnitřní dělicí konstrukce

Jedná se o měření stropů, stěn, případně je měřen přenos hluku mezi místnostmi, které spolu přímo nesousedí. Pro měření je nutné mít přístup do obou místností, které jsou konstrukcí odděleny. Jedna místnost je označena za vysílací, druhá za přijímací. Ve vysílací místnosti je spuštěn zdroj hluku (všesměrový reproduktor produkující tzv. bílý šum). Následně je zvukoměrem provedeno měření hluku z tohoto zdroje ve vysílací místnosti a v přijímací místnosti pro přesně daný počet poloh zvukoměru a zdroje hluku (reproduktoru). Poté je měřena hladina hluku pozadí a doba dozvuku v přijímací místnosti. Z těchto dat je následně výpočtem stanovena stavební vzduchová neprůzvučnost konstrukce.

### Měření vzduchové neprůzvučnosti obvodového pláště

Při měření neprůzvučnosti obvodového pláště je v první fázi měřen venkovní hluk na fasádě objektu. Ve druhé fázi je měřen hluk uvnitř objektu v tzv. přijímací místnosti pro přesně daný počet poloh zvukoměru. Poté je měřena hladina hluku pozadí a doba dozvuku v přijímací místnosti. Z těchto dat je následně výpočtem stanovena stavební vzduchová neprůzvučnost konstrukce. Zdrojem hluku ve venkovním prostředí může být bílý šum produkovaný reproduktorem, případně je jako zdroj hluku využíváno dopravního hluku v lokalitě.

### Měření kročejové neprůzvučnosti

Tento typ zkoušky se týká zejména stropů, kdy zkoušenou konstrukcí je strop s podlahou oddělující dvě místnosti nad sebou. Časté je také měření v horizontálním směru mezi dvojicí místností na jednom podlaží (např. mezi společnou chodbou bytového domu a obytnou místností bytu). Pro měření je nutné mít přístup do obou místností, které jsou odděleny zkoušeným stropem nebo kterých se týká přenos kročejového hluku v horizontálním směru. Jedna místnost je označena za vysílací, druhá za přijímací. Ve vysílací místnosti je spuštěn zdroj hluku (zdroj kročejového hluku - klepadlo). Následně je zvukoměrem provedeno měření hluku z tohoto zdroje v přijímací místnosti pro přesně daný počet poloh zvukoměru a zdroje hluku (klepadla). Poté je měřena hladina hluku pozadí a doba dozvuku v přijímací místnosti. Z těchto dat je následně výpočtem stanovena stavební kročejová neprůzvučnost konstrukce.

### Měření doby dozvuku

Při měření doby dozvuku je zvukoměrem měřena doba v sekundách, za kterou dojde k poklesu hluku v místnosti po vypnutí zdroje. K měření je využíváno všesměrového reproduktoru s přerušovaným signálem růžového šumu, případně pro metodu měření impulsovou odezvou je využíváno výstřelu z poplašné pistole.

### Měření hluku ve venkovním prostředí

Jedná se o měření dopravního hluku nebo hluku ze stacionárních zdrojů (VZT, chlazení apod.). Měření by mělo vždy probíhat přímo v místě ke kterému se vztahuje hygienický limit hluku (nejčastěji v chráněném venkovním prostoru stavby). Při měření hluku ze stacionárních zdrojů je nutno dbát na nízký hluk pozadí. Často se stává že měřený zdroj hluku má nižší hlučnost než dopravní hluk v lokalitě. Proto je nutné měření většinou provádět v nočních hodinách, kdy je hluk pozadí (např. dopravy) nižší.

### Měření hluku ve vnitřním prostředí (mimopracovní)

Měření vždy probíhá přímo v místě ke kterému se vztahuje hygienický limit hluku (nejčastěji v chráněném vnitřním prostoru stavby). Měřeným zdrojem hluku může být hluk ze zdrojů uvnitř objektu (výtahy strojovny apod.) nebo je zdroj hluku z venkovního prostředí (nejčastěji doprava). Při měření hluku uvnitř je nutno dbát na nízký hluk pozadí. Často se stává že měřený zdroj hluku má nižší hlučnost než dopravní hluk v lokalitě, který např. při měření hluku z výtahu není předmětem měření. Proto je nutné měřit většinou v nočních hodinách, kdy je hluk pozadí (např. dopravy) nižší.

### Měření hluku v pracovním prostředí

Měření hluku v pracovním prostředí se vždy vztahuje ke konkrétní pracovní pozici. Výsledkem je hladina, které je pracovník vystaven za celou pracovní dobu 8 hodin.

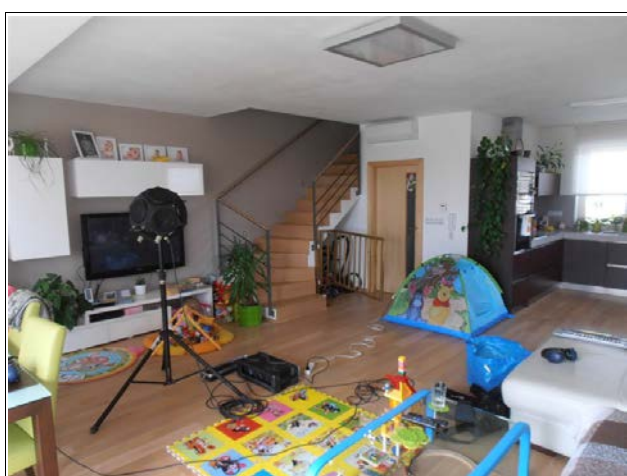




Obr. 43 - Měření hluku ve vnitřním chráněném prostoru stavby



Obr. 44 - Zdroj kročejového hluku - klepadlo



Obr. 45 - Všesměrový reproduktor při měření doby dozvuku v obývacím pokoji rodinného domu



Obr. 46 - Mikrofon na stativu při měření hluku z železniční dopravy na pozemku, kde je plánována výstavba rodinného domu





## 7 Použitá literatura

### **Normy a předpisy:**

Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby

ČSN 73 0540-1 (73 0540-1) Tepelná ochrana budov – Část 1: Termíny, definice a veličiny pro navrhování a ověřování

ČSN 73 0540-2 (73 0540-2) Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky

ČSN 73 0540-3 (73 0540-3) Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin

ČSN 73 0540-4 (73 0540-4) Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody

ČSN EN ISO 13 788 (73 0544) Tepelně vlhkostní chování st. dílců a st. prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrch. vlhkosti uvnitř kce – Výpočtová metoda

ČSN EN ISO 10211-1 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchová teplota. Část 1: Základní výpočtové metody

ČSN EN ISO 10211-2 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchová teplota. Část 2: Lineární tepelné mosty.

ČSN EN ISO 6946 (73 0558) Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

ČSN 73 0532 (73 0532) Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků - Požadavky

ČSN 73 0527 (73 0527) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – prostory pro kulturní účely – prostory ve školách – prostory pro veřejné účely

ČSN 73 0525 (73 0525) Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady

ČSN 27 4210 Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů - Nejvyšší povolené hodnoty hladin emisního akustického tlaku výtahů a stavební řešení zaměřená proti šíření hluku výtahů v nových stavbách

ČSN 73 4301 Obytné budovy

ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky

ČSN 73 0580-2 Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov

ČSN 73 0580-3 Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol

ČSN 73 0580-4 Denní osvětlení budov – Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov

ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení – Základní požadavky

ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory

ČSN 73 0581 Oslunění budov a venkovních prostor – Metoda stanovení hodnot

ČSN EN 13187 (73 0560) Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov – Infračervená metoda

ČSN EN 13829 Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda

Vyhláška 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov

### **Odborné publikace:**

Diagnostika staveb – Hydroizolace, Termografie, BLOWER DOOR TEST; Ing. Jan PEŠTA, Ing. David TESAR, Ing. Viktor ZWIENER, Ph.D. ; 2011

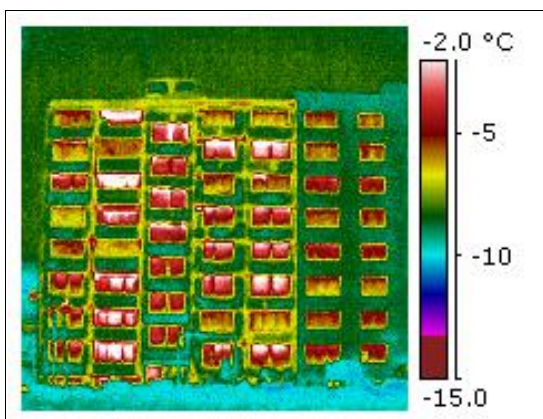
### **Archivy firem:**

Archiv ATELIER DEK



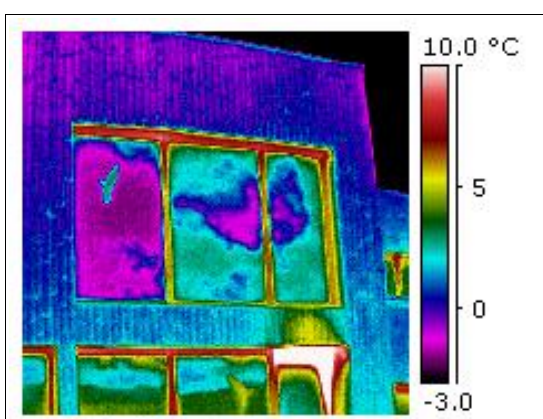
## 8 Obrazové přílohy

P1



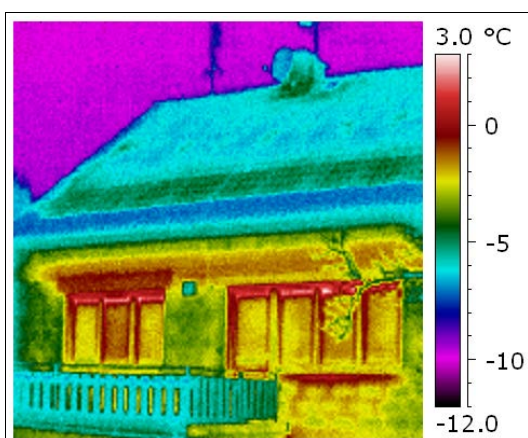
Termovizní snímek panelového domu z exteriéru. Na snímku je patrný kontrast panelového domu v původním stavu a sousedního domu po zateplení. Zateplením výrazně ubylo množství tepelných mostů.

P2



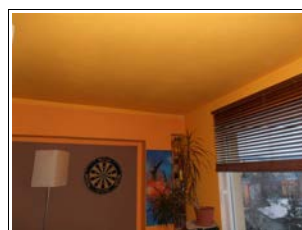
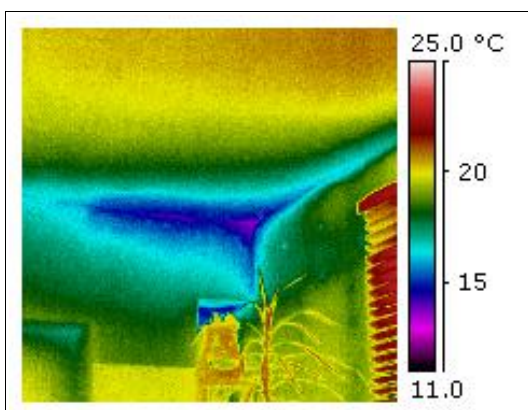
Termovizní snímek okenní výplně rodinného domu, ve které se „zrcadlí“ mraky na obloze. Z tohoto důvodu je snímání zasklení termovizní kamerou nevhodné.

P3



Termovizní snímek rodinného domu postaveného roku 1994. Jedná se o dům bez vnějšího zateplení. Na fasádě můžeme sledovat standardní liniové tepelné mosty způsobené nadokenními překlady. Pod okenní výplní jsou patrné zvýšené tepelné úniky vlivem prohřívání zdiva otopným tělesem pod oknem.

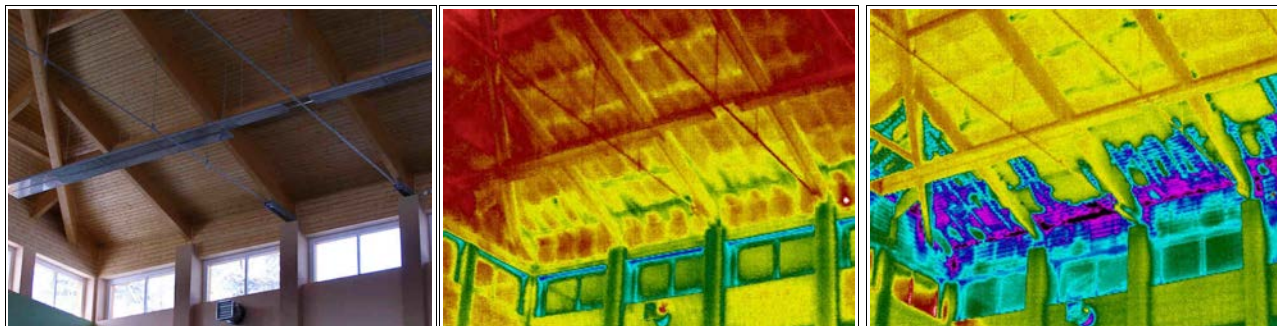
P4



Termovizní snímek významného tepelného mostu v obývacím pokoji bytu. Jedná se o kout pod střešou domu. V detailu hrozí riziko růstu plísní i riziko orosování.

## P5 – Příklady grafických výstupů termovizního měření při podtlaku – hledání netěsností

Příklad nevzduchotěsného provedení detailu napojení střechy a stěny – sportovní hala

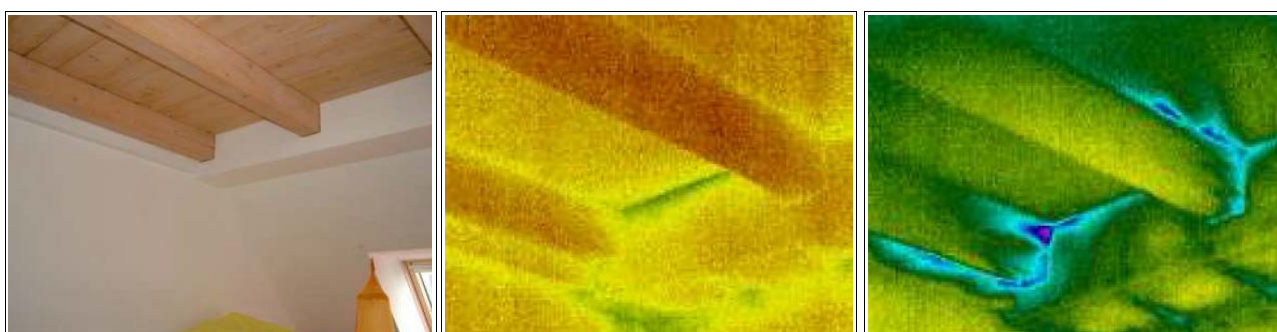


Foto

IR snímek - Přirozený tlakový rozdíl

IR snímek - Podtlak

Příklad nevzduchotěsného provedení detailu prostupu dřevěného trámu

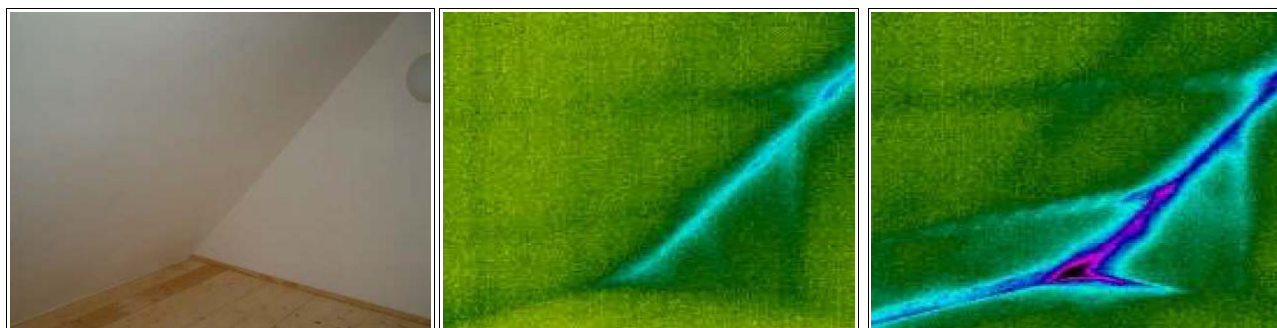


Foto

IR snímek - Přirozený tlakový rozdíl

IR snímek - Podtlak

Příklad nevzduchotěsného provedení detailu SDK obkladu v obytném podkroví

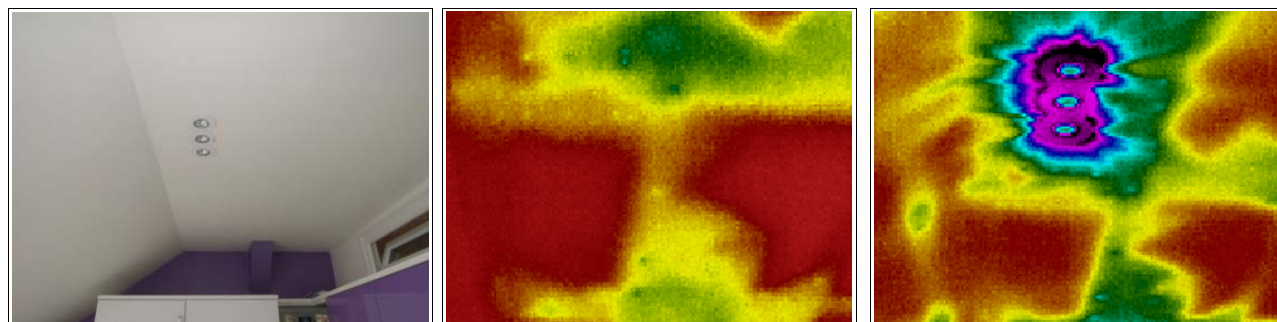


Foto

IR snímek - Přirozený tlakový rozdíl

IR snímek - Podtlak

Příklad nevzduchotěsného provedení detailu SDK obkladu v obytném podkroví – netěsnosti způsobené osazením bodových svítidel (vlivem svítidel byla porušena parotěsnící a vzduchotěsnící vrstva)



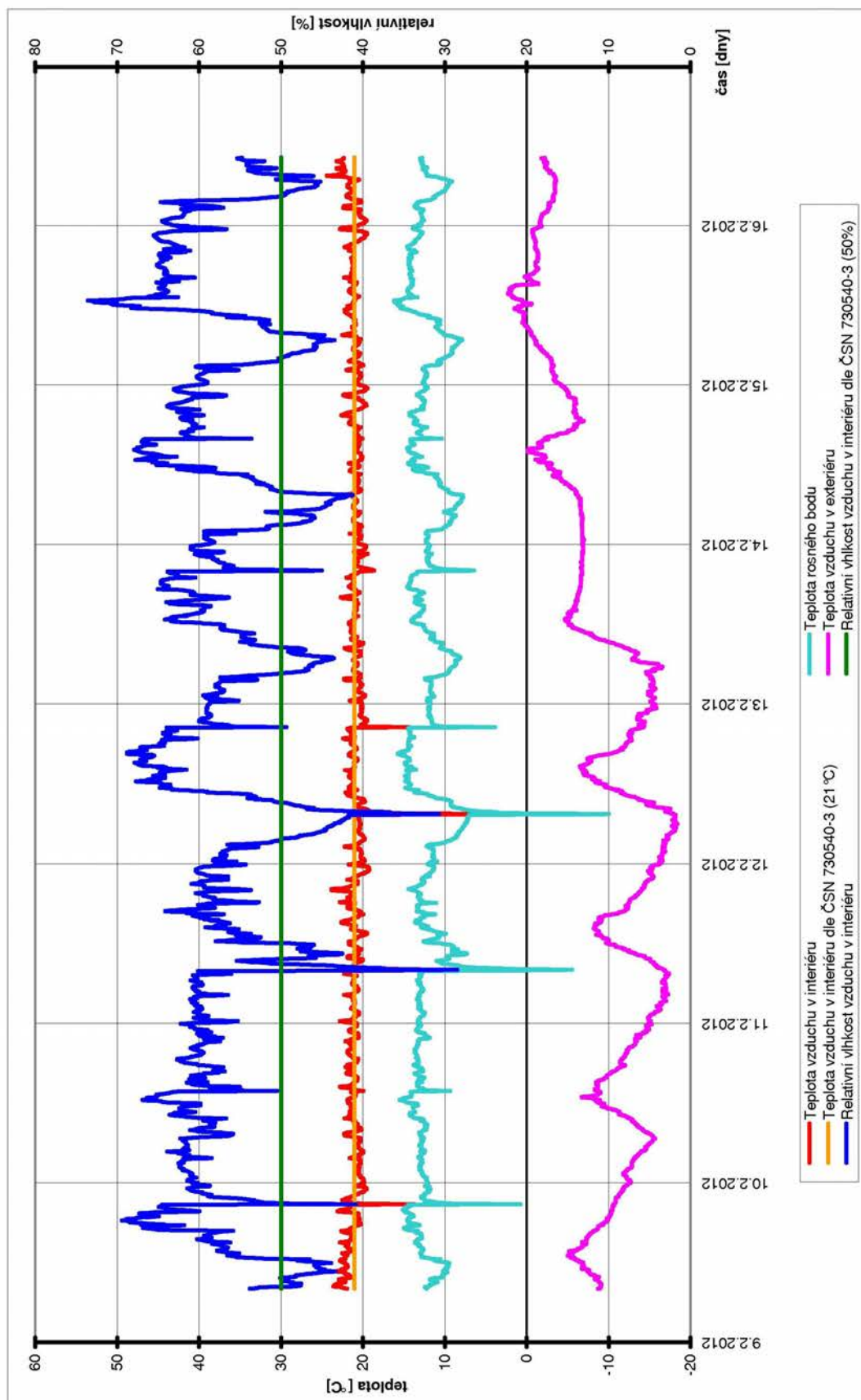
Foto

IR snímek - Přirozený tlakový rozdíl

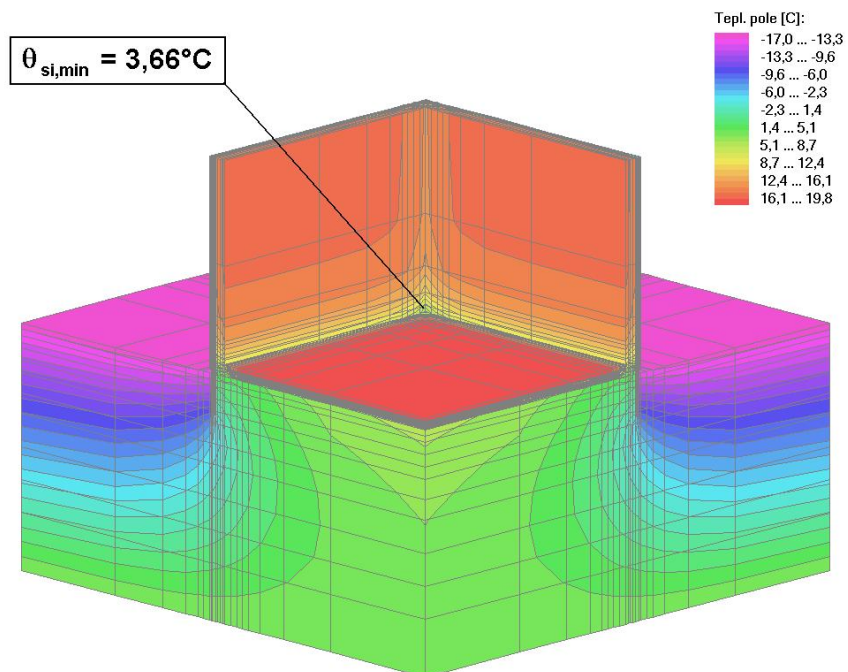
IR snímek - Podtlak



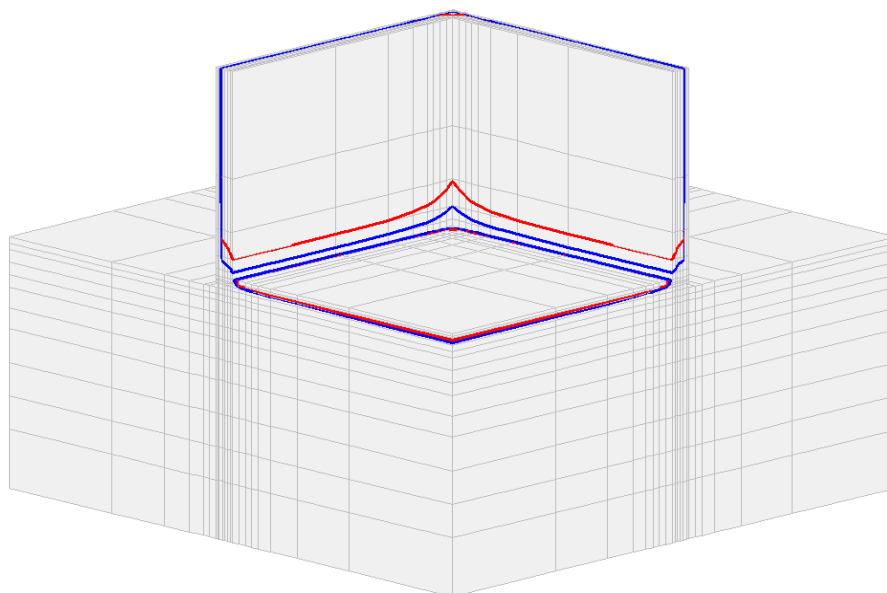
## P6 – Příklad výsledků měření parametrů vnitřního prostředí – obývací pokoj bytu



P7



Obr. 2 - 3D teplotní pole – detail koutu



Obr. 3 - Grafické posouzení detailu koutu z hlediska vnitřní povrchové teploty. Modře je vyznačena kritická izoterma pro riziko orosování, červeně kritická izoterma pro riziko růstu plísní







#### INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato příručka vznikla na základě finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost „Stavebnictví 21“, reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.

Ing. Radim Mařík, Ing. Lubomír Odehnal, Ing. Pavel Štajnrt  
**Návrh a posuzování staveb z hlediska stavební fyziky**

Vydala Střední průmyslová škola stavební, Opava, příspěvková organizace  
1. vydání  
Opava 2014

Tato příručka vznikla za finanční podpory  
Evropského sociálního fondu  
a rozpočtu České republiky  
v rámci projektu OP VK „Stavebnictví 21“,  
reg. č. CZ.1.07/1.1.24/01.0110.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



STŘEDNÍ  
PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA  
STAVEBNÍ  
OPAVA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ