



**Agromická
fakulta**

10. října 2014, Brno

Připravil: Ing. Petr Junga, Ph.D.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ZEMĚDĚLSKÉ STAVBY (9)

Stavební fyzika

Mendelova
univerzita
v Brně



Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU
směřující k vytvoření mezioborové integrace
CZ.1.07/2.2.00/28.0302

Úvod a cíl

- Presentace je zaměřena na poskytnutí základních informací z jednotlivých oblastí vybraných oborů Stavební fyziky, a to s důrazem na tepelnou ochranu budov, denní osvětlení a hluk. Cílem je seznámení se základními principy hodnocení energetické náročnosti budov, úrovně osvětlení v budovách a hodnocení hluku.

Klíčová slova

- Teplo, tepelný odpor, prostup tepla, energetická náročnost budov, tepelná ztráta, akustický tlak, denní osvětlení

Stavební tepelná technika

- Pro **správnou funkci** budov, jejich **energetickou efektivnost** a **vhodné vnitřní prostředí** v budovách (zamezení přehřívání, prochlazování, vysoké nebo nízké vlhkosti, kondenzace par atd.) má významný vliv **tepelná ochrana budov** a úprava vnitřního prostředí (větrání, vytápění, vlhčení...).
- **Stav vnitřního prostředí budovy** je výsledkem působení vnějšího prostředí a je zásadním způsobem ovlivňován **vlastnostmi stavebních konstrukcí** (především obvodového a střešního pláště a konstrukce podlah) a **produkcí tepla a vlhkosti uvnitř objektu** (biologická produkce, vytápění, větrání atd.).

Stavební tepelná technika

- Nejdůležitější kriteriální požadavky z hlediska tepelně technických vlastností budov jsou stanoveny v ČSN 73 0540-2 a patří sem:
 - součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$], který je v přímé vazbě na tepelný odpor R ,
 - nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} ,
 - pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10}$,
 - šíření vlhkosti konstrukcí $M_{ev,a}$, $M_{c,a}$,
 - šíření vzduchu konstrukcí i_{LV} .

Stavební tepelná technika

- intenzita výměny vzduchu v místnostech n ,
- tepelná stabilita místnosti v zimním období $\Delta\theta_v(t)$,
- tepelná stabilita místnosti v letním období $\Delta\theta_{ai,max}$,
 $\theta_{ai,max}$,
- stavebně energetické vlastnosti budovy U_{em} .

Stavební tepelná technika

- Součinitel prostupu tepla U_N

- vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory oddělenými od sebe stavební konstrukcí, která má určitý tepelný odpor R .

- **tepelný odpor konstrukce** vyjadřuje její tepelně izolační vlastnosti. Stanovuje se pro ustálený (stacionární) teplotní stav,

- pro skladbu konstrukce, kde lze uvažovat jednorozměrné šíření tepla se **tepelný odpor** stanoví dle vztahu:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad \left[m^2 \cdot K \cdot W^{-1} \right]$$

Stavební tepelná technika

- u **výplňových konstrukcí-výplní** otvorů (okna, dveře, vrata) se vychází z laboratorně ověřených údajů výrobce,
- u **neprůsvitných konstrukcí** se součinitel prostupu tepla vypočítá dle vztahu:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum R + R_e} = \frac{1}{R_T} \quad \left[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \right]$$

Stavební tepelná technika

- **Příklady požadovaných součinitelů tepelného prostupu U_N** dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov-Cást 2:
 - **vnější stěna lehká** $U_N = 0,30$ (dop. 0,25) [W/m²·K]
 - **vnější stěna těžká** $U_N = 0,30$ (dop. 0,20)
 - **střecha plochá a šikmá do 45°** $U_N = 0,24$
 - **střecha strmá se sklonem nad 45°** $U_N = 0,30$
 - **podlaha** na terenu (přízemí) nebo stěna vytápěného prostoru (suterénní místnosti) k zemině $U_N = 0,45$
 - **výplně otvorů (okna)** ve vnější stěně a strmé střeše $U_w = 1,50$

Stavební tepelná technika

- **Nejnižší vnitřní povrchová teplota** konstrukce t_{si}
 - velmi důležitý parametr u budov s vyšší relativní vlhkostí vzduchu ($\varphi_i \leq 80 \%$), kdy je nutné aby povrchová teplota t_{si} byla v každém místě vyšší než teplota rosného bodu t_w
 - důležité zejména u staveb pro chov hospodářských zvířat,
 - při relativní vlhkosti vzduchu nad 80 % je **velmi vysoké riziko růstu plísní.**

Stavební tepelná technika

- **Difúze a kondenzace vodních par**
 - k **přenosu vlhkosti (difúzi vodních par)** dochází mezi dvěma oddělenými prostředími s rozdílnými parciálními tlaky vodních par (z míst s vyšším tlakem do míst s nižším tlakem).
 - v konstrukci dochází za určitých podmínek (teplota, tlak) ke **kondenzaci vodních par**,
 - ke kondenzaci dochází zejména v zimním období. **Kondenzát působí negativně na stavební konstrukci, může způsobit i její destrukci,**
 - množství vodní páry, která zkondenzuje v konstrukci může být maximálně takové, jaké se v průběhu času z konstrukce odpaří,

Návrhová tepelná ztráta prostupem

- **Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ se pro vytápěný prostor (i) stanoví dle vztahu:**

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W]$$

- $H_{T,ie}$ **součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) obálkou (plášťem) budovy $[W \cdot K^{-1}]$,**

Návrhová tepelná ztráta prostupem

- $H_{T,iue}$ součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [$W \cdot K^{-1}$],
- $H_{T,ig}$ součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [$W \cdot K^{-1}$],

Návrhová tepelná ztráta prostupem

- $H_{T,ij}$ součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) uvnitř budovy, vytápěného na výrazně jinou teplotu $[W \cdot K^{-1}]$,
- $\theta_{int,i}$ výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) ve C,
- θ_e výpočtová venkovní teplota.

Stavební tepelná technika

- Celková tepelná ztráta budovy

- zohledňuje se **tepelná ztráta budovy** Q_I (skládající se z tepelné ztráty prostupem Q_T , větráním Q_V) a **tepelné zisky** Q_g (skládající se z vnitřních zisků Q_i a solárních zisků Q_s), a **stupeň využití tepelných zisků** η

- **potřeba tepla na vytápění:**

$$Q_h = Q_I - \eta \cdot Q_g \text{ [kWh/a]}$$

Stavební akustika

- Jedná se o obor, který zkoumá **akustické jevy v budovách a jejich okolí**, včetně vlivu na stavební konstrukce a vnitřní prostředí budov. Dílčími specializacemi stavební akustiky jsou akustika prostoru, akustika stavebních konstrukcí a urbanistická akustika.
- Posuzování akustických vlastností má význam zejména z důvodu **omezení negativních vlivů na lidi (případně zvířata)**, a v rámci budov i vnějšího prostředí.
- Akustické jevy jsou způsobovány **šířením zvuku prostředím ve formě tzv. akustického tlaku p** (hluk).
- **Minimální slyšitelný akustický tlak** je asi $20 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ (je to tzv. referenční hodnota akustického tlaku). Hodnota akustického tlaku 63 Pa je **práh bolestivosti**.

Stavební akustika

- **Hladiny akustického tlaku** se vyjadřují v poměrové logaritmické jednotce **decibel [dB]**, v závislosti na frekvenci zvukových vln ve **spektru hladiny akustického tlaku** (100 až 3150 Hz).
- Např. šepot nebo šumění listí 10 dB; tichá kancelář 40 dB; rušná ulice 70 dB; hlučná výrobní hala 90 dB; startující proudové letadlo 130 dB. Práh bolestivosti 120 až 130 dB.
- **Hygienické požadavky na úroveň akustického tlaku** jsou stanoveny legislativou (zákon č. 258/2000 Sb. a NV 148/2006 Sb.), a závisí především na druhu budovy (obytná, občanská, průmyslová, zemědělská...).
- Měření hladiny akustického tlaku provádí Krajské hygienické stanice.

Stavební akustika

- **Akustika prostoru**
 - **úpravy akustiky vnitřního prostředí budov** mají za cíl zajistit optimální podmínky pro sluch,
 - úpravy akustiky prostoru se zaměřují na **zajištění vhodné zvukové pohltivosti konstrukcí**, která brání nežádoucím odrazům zvuku (zvyšující hlučnost a špatnou slyšitelnost),
 - **charakteristickým parametrem zvukové pohltivosti materiálu (konstrukce) je činitel zvukové pohltivosti α** (definovaný jako poměr akustického výkonu pohlceného k akustickému výkonu dopadajícímu).

Stavební akustika

- **Akustika stavebních konstrukcí**
 - řeší problematiku **ochrany jednoho prostoru před pronikáním zvuku z jiného prostoru.**
 - **útlum akustického tlaku (hluku)**, který se šíří přes stavební konstrukci charakterizuje její vzduchová (přenos zvuku vzduchem) a kročejová neprůzvučnost (přenos zvuku od chůze, úderů, pádů těles na podlahu).
 - **stupeň vzduchové neprůzvučnosti R [dB]** vyjadřuje zvukově izolační vlastnost dělící konstrukce (stěna),
 - **kročejová neprůzvučnost** je určena hladinou normalizovaného kročejového hluku.
 - hodnocení neprůzvučnosti konstrukcí se provádí především laboratorně, teoretické výpočty jsou náročné a málo přesné.

Stavební akustika-zásady řešení konstrukcí

- **Jednoduché dělicí konstrukce** - neprůzvučnost je funkcí jejich plošné hmotnosti a polohy tzv. kritického kmitočtu. S plošnou hmotností se neprůzvučnost zvyšuje.
- **Násobné dělicí konstrukce** - jsou provedeny ze dvou dílčích dělicích konstrukcí oddělených vzduchovou mezerou (často vyplněnou zvukovým izolantem),
- **Vodorovné konstrukce** - řešeny jako násobné (podlahová konstrukce, nosná konstrukce, podhled),
- velmi příznivě působí kombinace těžké stropní konstrukce a lehké konstrukce podhledu a podlahy (řešeny jako tzv. „plovoucí“),
- **Otvory a jejich výplně** (okna, dveře, vrata) – umístění otvorů i vlastnosti výplní včetně mají rovněž vliv na neprůzvučnost.

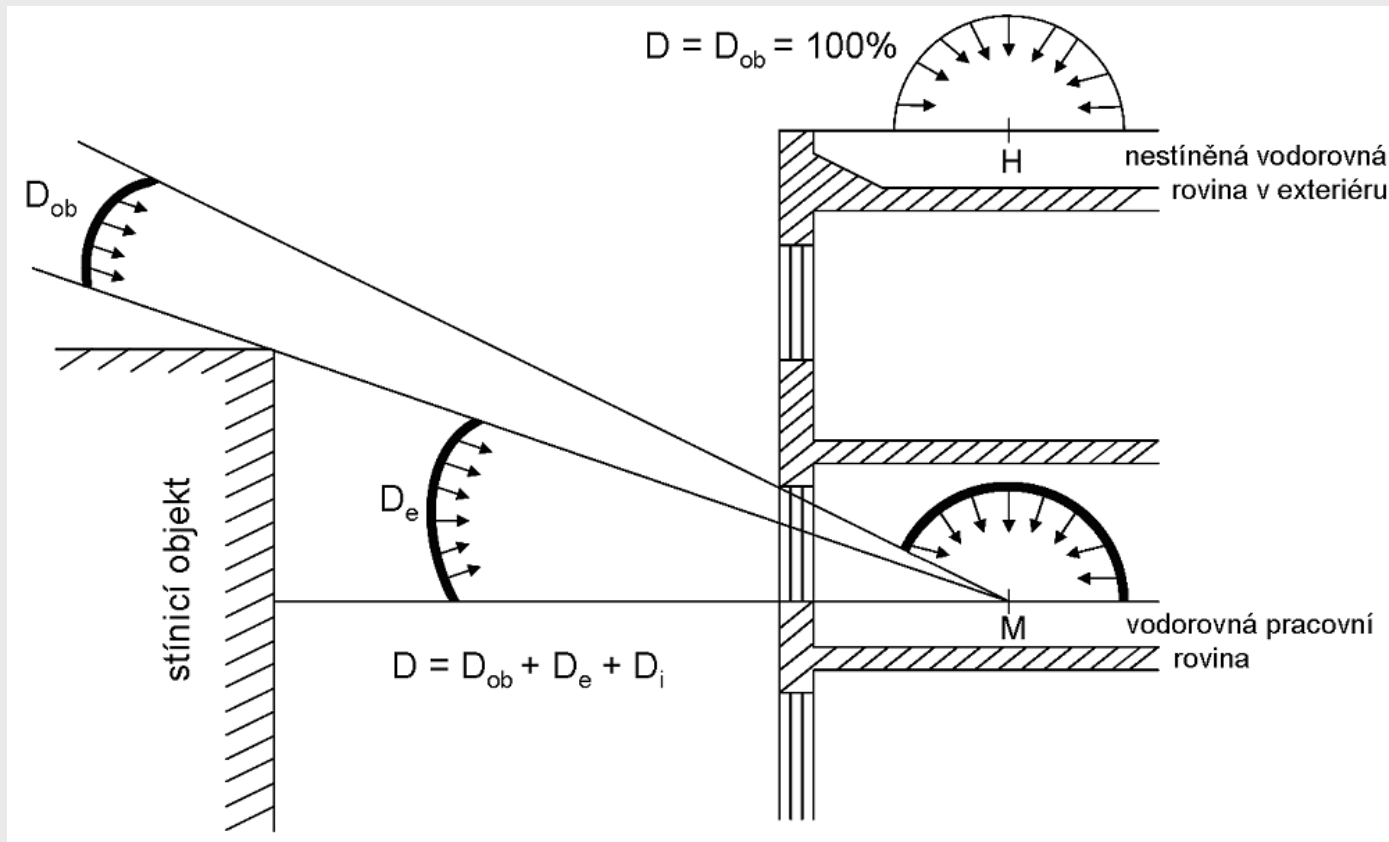
Denní osvětlení

- Každý interiér určený pro trvalý pobyt lidí musí být navržen tak, aby splňoval požadavky na **zrakovou pohodu prostředí**.
- Podmínky pro **denní osvětlenost** stanovuje ČSN 73 0580-1 „Denní osvětlení budov“ a ČSN 730580-4 Denní osvětlení průmyslových budov.
- Na denní osvětlení má vliv zejména **rozptýlené oblohové světlo a proslunění vlivem přímého slunečního záření**.

Denní osvětlení

- **Rozptýlené oblohové světlo**
 - **úroveň denního osvětlení** se zjišťuje a hodnotí za venkovní situace charakteristické pro zimní období s malým množstvím denního světla a za předpokladu tmavého terénu a rovnoměrně zatažené oblohy.
 - **hlavním kritériem kvality světelného stavu je osvětlenost „E“** v jednotlivých místech interiéru a je dána světelným tokem, který proniká od oblohy k posuzovanému bodu třemi různými cestami a kterým odpovídají **tři složky činitele denní osvětlenosti „D“** (1) přímo-osvětlovacími otvory; 2) odrazem od vnějších povrchů; 3) mnohonásobným odrazem od vnitřních povrchů)

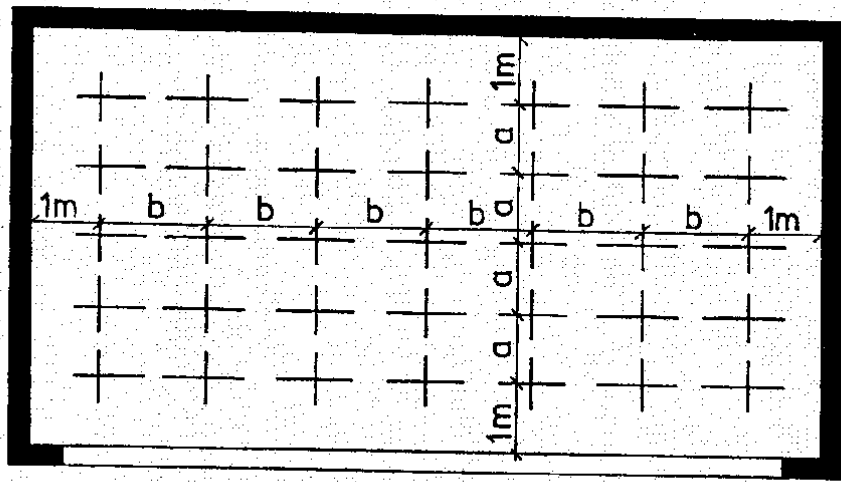
Složky činitele denní osvětlenosti



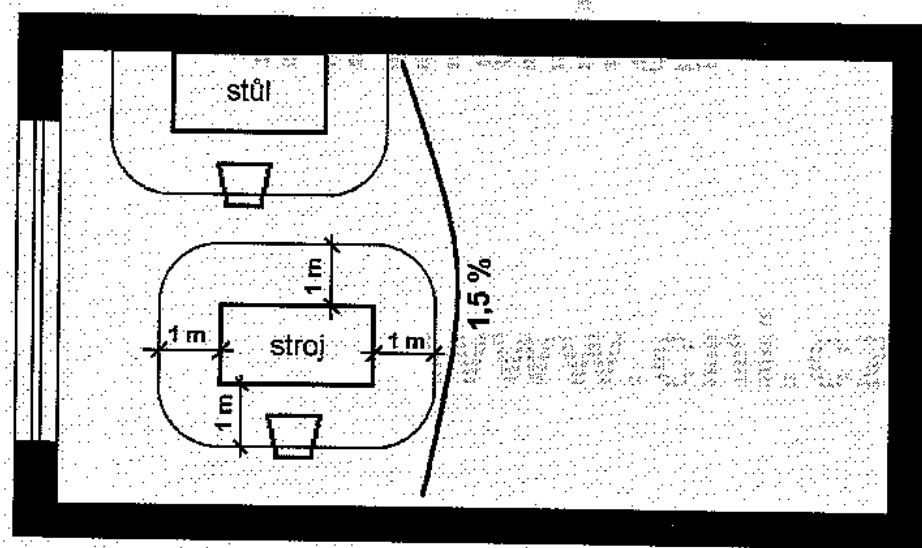
Denní osvětlení

- Činitel denní osvětlenosti „D“ [%],
 - stanovuje se v **kontrolních bodech** v místnosti (sít' bodů po 1 až 6 m, od stěn vždy 1 m) ve výšce 850 mm, a ve stejnou dobu se změří hodnoty osvětlenosti (v luxmetrech) v interiéru-v místě kontrolního bodu a v exteriéru.
 - **denní osvětlení interiérů** se navrhuje a posuzuje **podle třídy zrakové činnosti**,
 - **třídy zrakové činnosti** (I. mimořádně přesná; II. velmi přesná-rýsování, jemné práce, III. přesná – přesná výroba a kontrola, IV. středně přesná-středně přesná výroba a kontrola, čtení, psaní, vyšetření, ošetření, příprava jídel až VII. celková orientace-chůze, doprava a skladování hrubého materiálu, celkový dohled),

Příklad rozmístění kontrolních bodů pro měření denní osvětlenosti



Obrázek 2 – Příklad rozmístění kontrolních bodů na srovnávací rovině



Denní osvětlení

- při **trvalém pobytu lidí** musí být $D_{\min}=1,5 \%$, resp. $D_{m(\text{průměrná})}=5 \%$, a to i tehdy **postačí-li pro danou zrakovou činnost nižší hodnoty**.
- ve **stájích** musí být $D_{\min}=2 \%$, resp. $D_{m(\text{průměrná})}=6 \%$,
- **rovnoměrnost denního osvětlení** se určuje jako podíl minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti zjištěné v posuzované místnosti (norma stanovuje prostory, kde se požaduje dodržení min. hodnot.
- denní osvětlení lze významně ovlivnit **osazením objektu (orientací) na stavebním pozemku, dispozičním a konstrukčním řešením objektu**.

Rovnoměrnost denního osvětlení

- Rovnoměrnost denního osvětlení patří mezi kvalitativní kritéria denního osvětlení a je dána vztahem: $r = \frac{D_{\min}}{D_{\max}}$
- Jedná se o **poměr minimální (Dmin) a maximální hodnoty (Dmax) činitele denní osvětlenosti**, zjištěné v posuzované místnosti. V prostorách, kde je požadováno dodržení pouze minimálních hodnot (Dmin), jsou hodnoty rovnoměrnosti pro jednotlivé třídy zrakové činnosti stanoveny normou.

Rovnoměrnost denního osvětlení

- Mezi další **kvalitativní kritéria** patří:
 - **rozložení světelného toku**, vyjadřující převládající směr osvětlení (většinou se preferuje osvětlení zleva nebo zleva a zepředu),
 - **rozložení jasu ploch v zorném poli** (odstraňují se rušivé jasy a kontrasty v zorném poli pozorovatele, tak aby bylo možné maximální soustředění na předmět zrakové práce),

Rovnoměrnost denního osvětlení

- **zabránění oslnění při zatažené obloze i přímém slunečním světle** (osvětlovací otvory nemají být umístěny v zorném poli pozorovatele a osvětlovací otvory by měly být vybaveny pevnými nebo pohyblivými zařízeními pro omezení přímého slunečního záření (např. žaluzie, rolety, slunolamy, závěsy apod.),
- **barevnost ploch v interiéru**, protože barva povrchu ovlivňuje odrazivost a tím i množství světla v posuzované místnosti. Barvy povrchů mohou u člověka rovněž vyvolávat různé pocity (např. chlad, teplo, smutek, uklidnění, vzrušení apod.).