

Okrajové podmínky pro tepelně technické výpočty

Zbyněk Svoboda, FSv ČVUT

Původní text ze skript „Stavební fyzika 31“ z roku 2004. Částečně aktualizováno v roce 2014 především s ohledem na změny v normách.

Správné stanovení okrajových podmínek je jednou ze základních součástí jakéhokoli technického výpočtu. Výjimkou nejsou ani tepelně technické analýzy. V následující kapitole bude uveden stručný přehled nejdůležitějších okrajových podmínek pro venkovní i vnitřní prostředí.

1.1. Venkovní prostředí

1.1.1. Teplota

V tepelně technických výpočtech se teplota venkovního prostředí uplatňuje různým způsobem v závislosti na konkrétním typu výpočtu. Základní a nejvíce používanou hodnotou je **návrhová teplota venkovního vzduchu** v zimním období, která podle ČSN 730540-3 závisí na zeměpisné poloze a nadmořské výšce hodnoceného objektu. Stanoví se ze vztahu

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_{e,100} \frac{h-100}{100}, \quad (1)$$

kde $\theta_{e,100}$ je základní návrhová teplota venkovního vzduchu v nadmořské výšce 100 m n. m. v dané teplotní oblasti ve °C, $\Delta\theta_{e,100}$ je teplotní gradient v dané teplotní oblasti ve °C a h je nadmořská výška úrovně ±0,00 objektu v m (obvykle tedy nadmořská výška 1. NP).

Vypočtená hodnota θ_e se zaokrouhluje vždy směrem dolů na nejbližší celé číslo (např. hodnota -12,4 °C na -13 °C).

Rozložení čtyř základních teplotních oblastí na území České republiky ukazuje Obr. 1. Základní návrhová teplota venkovního vzduchu $\theta_{e,100}$ se pro oblasti 1 až 4 uvažuje -12 °C, -14 °C, -16 °C a -18 °C. Teplotní gradient $\Delta\theta_{e,100}$ nabývá hodnot -0,5 °C pro oblast 1, -0,3 °C pro oblast 2 a -0,2 °C pro zbylé dvě oblasti.



Obr. 1 Teplotní oblasti v zimním období

Návrhová venkovní teplota je samozřejmě teplotou venkovního vzduchu. Často je ovšem nutné hodnotit i konstrukce ve styku s nevytápěnými prostory či zeminou. V takových případech se obvykle používají orientační hodnoty teplot uvedené v ČSN 730540-3 a v dnes již neplatné ČSN 060210 (Tab. 1 a

Tab. 2). Upozornit je třeba na to, že některé hodnoty mohou být dnes již zastaralé. Například v kotelnách či sklepech mohou být teploty nižší vzhledem k nižším technickým ztrátám kotlů a výraznější tepelné izolaci ve stropních konstrukcích. Stejně tak nižší mohou být i teploty pod podlahami – a to zvláště u nízkoenergetických objektů.

Tab. 1: Teploty v zemině podle ČSN 730540-3, Tab. H.5

Prostor	Teplota při návrhové venkovní teplotě	
	vyšší než -15 °C	nižší než -15 °C
Teplota v zemině pod podlahou nebo u suterénní stěny v hloubce nad 3 m	5 až 10 °C (horní hranice platí pro střed rozlehlých podlah, např. u hal)	
Teplota v zemině u stěny do hloubky 1 m	-3 °C	-6 °C
Dtto v hloubce 1 až 2 m	0 °C	-3 °C
Dtto v hloubce 2 až 3 m	3 °C	0 °C

Tab. 2: Některé teploty v nevytápěných prostorech podle ČSN 060210, Tab. A.6

Prostor	Teplota při návrhové venkovní teplotě	
	vyšší než -15 °C	nižší než -15 °C
Místnosti sousedící částečně s vytápěnými místnostmi a částečně s vnějším prostředím, s venkovními dveřmi	0 °C	-3 °C
Vnitřní chodby	15 °C	
Sklepy zcela pod terénem	5 až 10 °C	
Sklepy částečně nad terénem větrané	0 °C	-3 °C
Kotelny, strojovny	15 až 20 °C	

V případech, kdy je potřebné teplotu v nevytápěném prostoru stanovit přesněji, se vychází z tepelné bilance nevytápěného prostoru

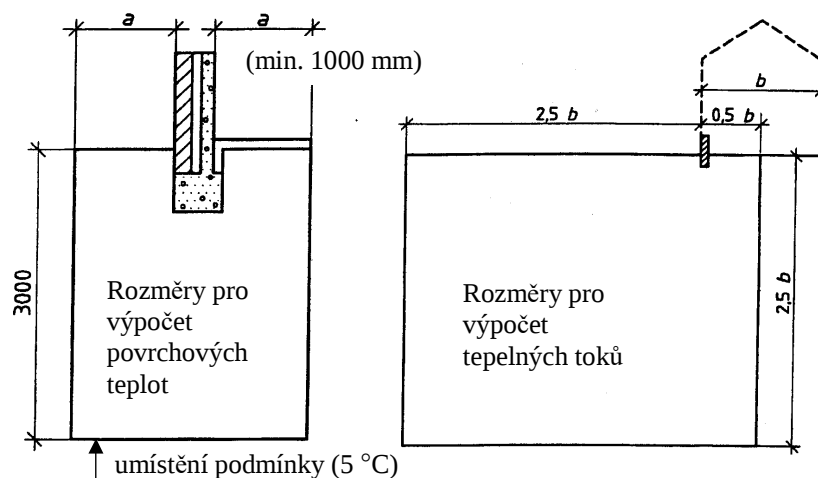
$$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_i = \Phi_{T,e} + \Phi_{V,e}, \quad (2)$$

kde $\Phi_{T,i}$ a $\Phi_{V,i}$ jsou tepelné zisky prostupem a větráním z okolních vytápěných prostorů ve W, $\Phi_{T,e}$ a $\Phi_{V,e}$ jsou tepelné ztráty prostupem a větráním do exteriéru ve W a Φ_i je vnitřní zisk tepla ve W (např. od osob). Detailně rozepsaný vztah (2) je uveden v čl. 8.2.2 v ČSN 060210.

Než se podíváme podrobněji na zadávání teplot v zemině, zmiňme se ještě o **teplotě ve větrané vrstvě dvouplášťových konstrukcí**. Starší norma ČSN 060210 např. předpokládá, že v této vrstvě je vždy vyšší teplota než v exteriéru, a to minimálně o 3 °C. Skutečně tomu tak bývá, ale přesto se v tepelně technických posouzeních dvouplášťových konstrukcí předpokládá, že teplota vzduchu ve větrané vrstvě je v zimním období stejná jako návrhová teplota venkovního vzduchu.

U zadávání **teplot v zemině** do výpočtu je velice důležité, za jakým účelem se výpočet provádí. Pokud je detail ověřován z hlediska požadavku na *povrchovou teplotu*, zadává se předpokládaná teplota v zemině do hloubky **3 m** pod terénem (u nepodsklepených budov) či do hloubky **1 m** pod podlahou (je-li podlaha více než 2 m pod povrchem terénu). Teplota v zemině se v ČR obvykle předpokládá 5 °C, i když ČSN 730540-3 (a starší vydání EN ISO 13788) doporučuje uvažovat teplotu v zemině shodnou s průměrnou roční teplotou venkovního vzduchu. Vzhledem k tomu, že se průměrná roční teplota venkovního vzduchu pohybuje v běžně obývaných místech v ČR zhruba od 3 °C do 8 °C, je obvyklá hodnota 5 °C (viz Tab. 1) dobře použitelná.

Pokud hodnotíme *tepelné toky* (počítáme-li tedy např. lineární činitel prostupu tepla), okrajová podmínka se do zeminy vůbec nezadává. Nové evropské výpočtové postupy tuto nejistou okrajovou podmínku raději zcela obcházejí. Na Obr. 2 je pro ilustraci naznačeno, jak se volí rozměry zeminy uvažované ve výpočtu detailu základu v závislosti na typu výpočtu.

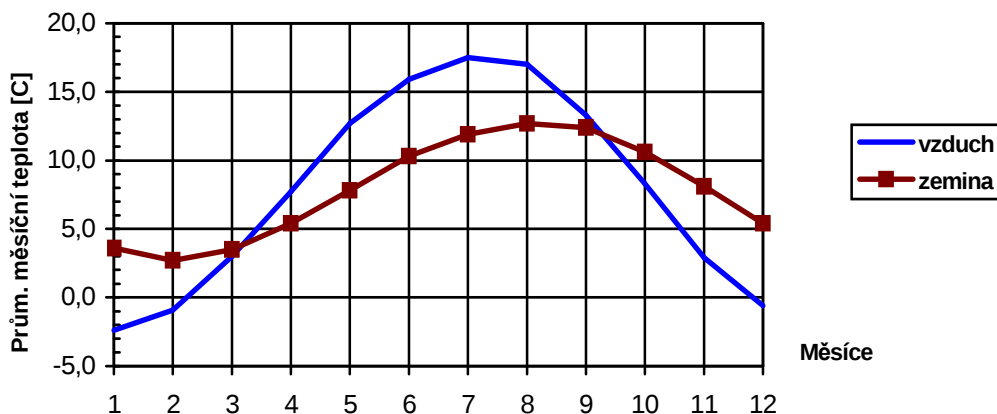


Hodnota b může být:

- menší půdorysný rozměr budovy
- charakter. rozměr podlahy $b = A / (0,5 \cdot P)$, kde A je plocha v m^2 a P obvod podlahy v m
- 8 m, nejsou-li o budově podrobnější informace

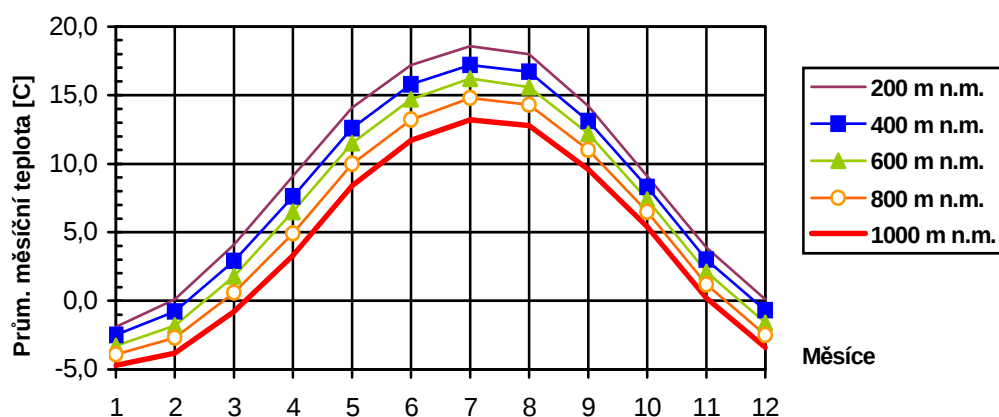
Obr. 2 Okrajové podmínky v zemině podle ČSN EN ISO 10211

V EN ISO 13788 (2012) se objevuje ještě další kategorie teplot v zemině: **průměrné měsíční teploty v zemině** určené pro výpočet rizika kondenzace vodní páry v konstrukcích v kontaktu se zeminou. Pro jejich stanovení je nutné mít k dispozici průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu θ_m v dané lokalitě (viz dále). Z nich se nejprve stanoví průměrná roční teplota venkovního vzduchu θ_{an} a následně se pak postupně vypočtou pro každý měsíc průměry $(\theta_m + \theta_{an})/2$. Nakonec se posunou vypočtené teploty o jeden měsíc (leden na únor, únor na březen atd.), čímž se zjednodušeně zohlední tepelná akumulace zeminy. Takto stanovený průběh teplot v zemině platí podle ČSN EN ISO 13788 v hloubce 2 m pod podlahou (do výpočtu konstrukce se pak zahrnují i tyto 2 m zeminy). Pro ilustraci je na Obr. 3 vidět výsledný průběh průměrné měsíční teploty v zemině pod budovou pro Prahu zároveň s výchozím průběhem průměrných měsíčních teplot venkovního vzduchu.

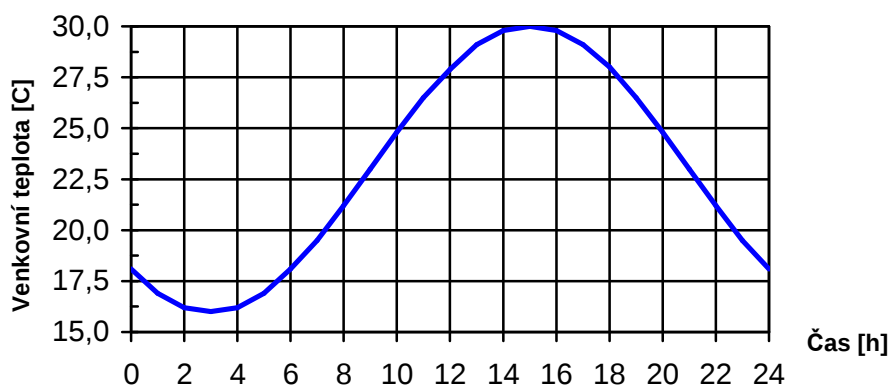


Obr. 3 Průměrné měsíční teploty v zemině a ve venkovním vzduchu v Praze

Již zmíněné **průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu** patří k velmi často používaným okrajovým podmínkám v tepelně technických výpočtech. Jsou nezbytné například pro výpočet roční bilance vodní páry podle ČSN EN ISO 13788 nebo pro výpočet energetické náročnosti budov s měsíčním krokem podle ČSN EN ISO 13790. Tyto hodnoty jsou uvedeny pro různé nadmořské výšky v ČSN 730540-3 v Tab. H.3, lze však použít i hodnoty pro konkrétní lokality publikované ČHMÚ nebo různé smluvní soubory dat pro energetické výpočty (viz TNI 730329, TNI 730330 a TNI 730331). Na Obr. 4 je vidět pro ilustraci průběh měsíčních teplot venkovního vzduchu v různých nadmořských výškách v ČR.



Obr. 4 Průměrné měsíční teploty vnějšího vzduchu v různých nadmořských výškách v ČR podle ČHMÚ



Obr. 5 Denní průběh teploty venkovního vzduchu v letním období podle ČSN 730540-3

V tepelně technických výpočtech hodnotících chování místností v letním období se ještě používá časově závislá **teplota venkovního vzduchu během letního dne**, která je potřebná pro výpočet odezvy místnosti na tepelnou zátěž podle ČSN EN ISO 13791 a 13792 a kterou lze nalézt v ČSN 730540-3 v Tab. H.8 (Obr. 5).

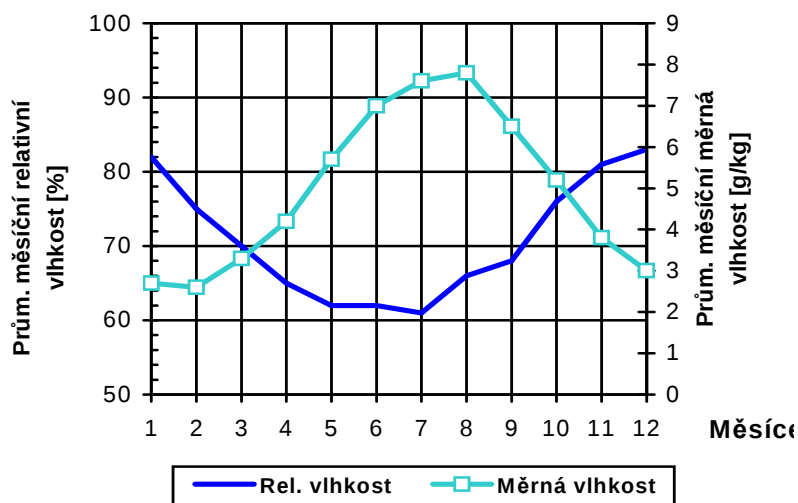
1.1.2. Relativní vlhkost

Návrhovou relativní vlhkost vnějšího vzduchu lze podle ČSN 730540-3 stanovit ze vztahu

$$\varphi_e = \frac{93 \cdot \theta_e - 3153,5}{\theta_e - 39,17}, \quad [\%] \quad (3)$$

kde θ_e je návrhová teplota venkovního vzduchu ve °C v rozmezí od -21 °C do 25 °C. **Návrhová relativní vlhkost v zemině** se uvažuje podle ČSN EN ISO 13788 hodnotou 100 %.

Pro výpočty jsou potřebné i **průměrné měsíční relativní vlhkosti vnějšího vzduchu**. Dostupnost těchto hodnot je bohužel podstatně nižší než v případě teplot. Naštěstí jsou průměrné relativní vlhkosti vnějšího vzduchu pro výsledky tepelně technických výpočtů podstatně méně významné než průměrné měsíční venkovní teploty. Lze proto bez velkých rizik použít podle uvážení např. data uvedená pro různé lokality v ČR v [1], a nebo stanovit průměrnou měsíční venkovní relativní vlhkost v souladu s ČSN 730540-3 výpočtem ze vztahu (3). Na Obr. 6 jsou vidět průměrné měsíční relativní vlhkosti venkovního vzduchu pro Prahu spolu s měrnými vlhkostmi vnějšího vzduchu.

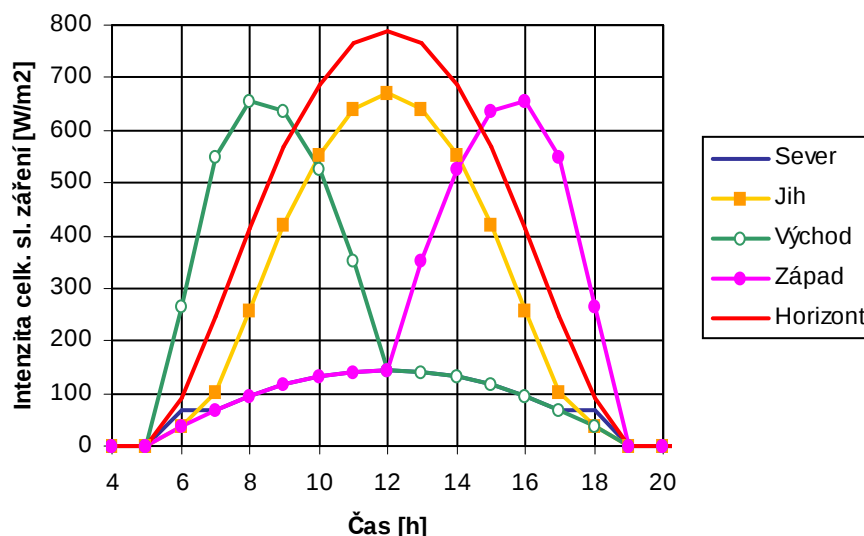


Obr. 6 Průměrné měsíční relativní a měrné vlhkosti vnějšího vzduchu pro Prahu podle [1]

Za připomenutí na tomto místě stojí sice obecně známá, ale občas zapomínaná skutečnost, že absolutní vlhkost vnějšího vzduchu je v létě vyšší než v zimě, ačkoliv jeho relativní vlhkost je nižší. Vzduch tedy v létě obsahuje více vodní páry než v zimě (je reálně vlhčí). Na druhou stranu je venkovní vzduch v zimě blíže stavu svého nasycení.

1.1.3. Sluneční záření

V tepelně technických výpočtech se sluneční záření uplatní především při hodnocení chování místností v letním období a při stanovení energetické náročnosti budov.



Obr. 7 Intenzita globálního slunečního záření v letním období podle ČSN 730540-3

Pokud hodnotíme tepelnou stabilitu místnosti v letním období podle ČSN EN ISO 13791 či 13792, používá se pro tento výpočet **intenzita globálního slunečního záření** podle Tab. H.8 v ČSN 730540-3 (Obr. 6). Vedle tabulkových normových dat existují samozřejmě i obecné výpočtové postupy pro stanovení intenzity slunečního záření v libovolném místě zemského povrchu, které mohou zájemci nalézt v běžně dostupné literatuře.

Pro určení energetické náročnosti budov podle ČSN EN ISO 13790 se používá ještě **celkové množství energie globálního slunečního záření** dopadající na jednotkovou plochu s určitou orientací za jednotku času (většinou za měsíc). Musí se vždy jednat o skutečně dopadající množství energie, které zohlední dobu slunečního svitu v dané lokalitě, míru znečištění a podobně (Obr. 8). Tato data bohužel nejsou dosud v potřebné šíři k dispozici.



Obr. 8 Teoretické a skutečné množství dopadající energie slunečního záření na vodorovnou plochu v Praze podle //

Zatím lze pro energetické bilance použít např. údaje pro obecnou lokalitu z ČSN 730540-3, Tab. H.10 (Tab. 3), nebo údaje vycházející z dílčích měření ČHMÚ (Praha, Brno, Ostrava a několik dalších lokalit).

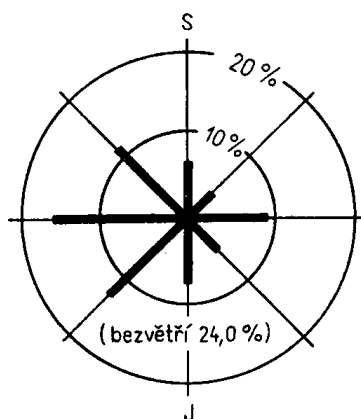
Tab. 3: Celkové množství dopadající energie slun. záření v kWh/(m²) za měsíc podle ČSN 730540-3

Měsíc	Orientace plochy					
	H	S	SV, SZ	V, Z	JV, JZ	J
Leden	23,06	5,21	6,42	15,01	32,20	41,94
Únor	36,75	7,26	9,55	22,21	42,17	53,31
Březen	76,12	15,60	23,25	48,89	76,16	89,73
Duben	110,53	24,04	38,30	65,84	84,33	88,42
Říjen	52,74	10,36	14,06	32,23	57,61	71,57
Listopad	25,53	5,52	6,98	15,87	31,99	41,07
Prosinec	18,62	4,03	5,09	11,18	23,86	30,95
Celkem za otopné období	343,35	77,02	103,65	211,23	348,32	416,99

1.1.4. Vítr

Návrhová rychlost větru v rozmezí od 0,75 m/s do 1,75 m/s (v závislosti na typu krajiny a poloze budovy) se v tepelně technických výpočtech používá především při hodnocení dvouplášťových konstrukcí. Uvádí ji Tab. H.11 v ČSN 730540-3. V ostatních výpočtech tepelné ochrany budov se

rychlost větru objevuje spíše zprostředkovaně (např. v tepelném odporu při přestupu tepla na vnější straně).

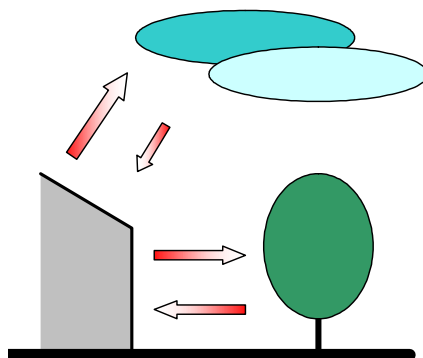


Obr. 9 Četnost směru větru pro Prahu – Karlov podle / /

Zajímavé je v souvislosti s větrem na území ČR jeho charakteristické rozložení ve směru světových stran. Z Obr. 9 je zřejmé, že jednoznačně převažující jsou západní větry (resp. jiho a severozápadní). Během zhruba čtvrtiny roku panuje prakticky bezvětří (tj. vzduch proudí rychlostí na hranici citlivosti měřících přístrojů či pod ní). Tyto skutečnosti je dobré mít na paměti při projektování dvouplášťových střech bez rozdílu výšek mezi vstupními a výstupními otvory. U těchto konstrukcí je totiž provětrávání vzduchové vrstvy rozhodujícím způsobem závislé právě na větru. Větrací otvory by tedy měly být vždy orientovány ve směru převažujícího větru v dané lokalitě a konstrukce musí být navíc funkční i za bezvětří.

1.1.5. Výměna tepla sáláním s oblohou

V některých případech je nutné ve výpočtech uvažovat i **výměnu tepla sáláním** mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou. Stavební konstrukce - jako každý objekt o určité teplotě - emituje sáláním tepelný tok do okolí a na druhou stranu zas tepelný tok od okolí přijímá. Za normálních podmínek je výměna tepla sáláním s okolními objekty zhruba v rovnováze, zatímco výměna tepla sáláním s oblohou většinou v rovnováze není. Tepelný tok sáláním z atmosféry činí totiž průměrně jen zhruba 80% ze sálavého toku od okolních objektů / /. V důsledku toho je bilance výměny tepla sáláním pro konstrukci obvykle záporná: emituje sáláním více tepla, než přijímá (Obr. 10). Nejnepříznivější situace nastává pro konstrukce s přímým vizuálním kontaktem s oblohou za jasných nocí, kdy může dosáhnout „ztrátový“ tepelný tok z vodorovné konstrukce do atmosféry hodnot až kolem 80 W/m^2 / /. Jedná se o poměrně velké množství tepla, které způsobuje snížení teploty vnějších vrstev konstrukce.



Obr. 10 Výměna tepla sáláním mezi budovou a okolím

Pokud není vnější povrch dotován v dostatečné míře teplem (obvykle z interiéru), může dojít dokonce i k poklesu vnější povrchové teploty pod teplotu rosného bodu okolního vnějšího vzduchu. Důsledkem je poté **kondenzace vodní páry na vnějším povrchu konstrukce** (či námraza při teplotách pod 0 °C). Výskyt kondenzátu či námrazy je pochopitelně podmíněn poměrně vysokou relativní vlhkostí vnějšího vzduchu – pak stačí „podchlazení“ konstrukce jen o několik stupňů oproti teplotě vnějšího vzduchu.

U méně tepelně izolovaných jednovrstevných konstrukcí se tento jev objevuje jen zřídka, protože k jejich vnějšímu povrchu může teplo z interiéru pronikat poměrně dobře. Naopak dosti často se kondenzace vodní páry na vnějším povrchu objevuje u dvouvrstevných konstrukcí – a to zvláště tehdy, pokud je vnější plášť tvořen trapézovými plechy. O problematice kondenzace na vnějším povrchu se začíná v současné době více diskutovat i v souvislosti s výskytem řas na vnějších površích konstrukcí s vysokým tepelným odporem.

Závěrem kapitoly o vnějších okrajových podmínkách se ještě zmiňme o veličině, která umožňuje efektivně zavést do řady výpočtů souhrnný vliv teploty vzduchu, slunečního záření, větru a výměny tepla sáláním. Jedná se o tzv. **ekvivalentní sluneční teplotu**, kterou lze stanovit ze vztahu

$$\theta_{e,ekv} = \theta_e + \frac{\alpha_{sr} \cdot I}{h_e} - \frac{q_s}{h_e}, \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

kde θ_e je teplota venkovního vzduchu ve °C, α_{sr} je pohltivost slunečního záření vnějšího povrchu, I je intenzita globálního slunečního záření ve W/m², h_e je součinitel přestupu tepla na vnější straně ve W/(m²·K) a q_s je tepelný tok sáláním z konstrukce do atmosféry ve W/m². Ekvivalentní sluneční teplota se do výpočtů zavádí jako teplota vnějšího vzduchu působící těsně nad povrchem konstrukce.

1.2. Vnitřní prostředí

1.2.1. Teplota

Teplota vnitřního prostředí se do tepelně technických výpočtů zavádí s pomocí dvou veličin. První veličinou je **návrhová vnitřní teplota**, která odpovídá výsledné operativní teplotě v místnosti – jedná se tedy o hodnotu zahrnující vliv teploty vzduchu a vliv povrchových teplot ohraničujících konstrukcí. V evropských normách se tato teplota označuje také jako teplota suchého teploměru. Základní hodnoty návrhové vnitřní teploty uvádí pro různé místnosti Tab. I.1 v ČSN 730540-3 a Tab. NA.2 v ČSN EN 12831. Toto umístění napovídá i něco o hlavním využití návrhové vnitřní teploty – zmíněná veličina se totiž používá hlavně při výpočtech souvisejících s tepelnými ztrátami, potřebou tepla na vytápění a energetickou náročností budov.

Druhá veličina – **návrhová teplota vnitřního vzduchu** – je nezbytná při posuzování stavebních konstrukcí a detailů. Jedná se vlastně o teplotu vnitřního vzduchu bez vlivu sálání z okolních ploch. Obvykle se pro její stanovení používá zjednodušený vztah z ČSN 730540-3:

$$\theta_{ai} \doteq \theta_i + \Delta\theta_{ai}, \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

kde θ_i je návrhová vnitřní teplota ve °C (převzatá např. z ČSN 730540-3 nebo z projektu vytápění) a $\Delta\theta_{ai}$ je přírážka podle typu objektu a způsobu vytápění, která se stanoví z Tab. I.2 v ČSN 730540-3 (Tab. 4). Pro přesnější výpočet návrhové teploty vnitřního vzduchu lze použít postup uvedený v čl. 8.2.2 v ČSN 730540-3.

Pro výpočty roční bilance vodní páry podle ČSN EN ISO 13788 je nutné znát i **průměrné měsíční hodnoty návrhové teploty vnitřního vzduchu**. Obvykle se v tomto případě předpokládá, že návrhová teplota stanovená ze vztahu (5) je konstantní po celý rok.

Pozor je ovšem třeba dát na místnosti, které jsou v zimním období vytápěny na teplotu nižší než 20 °C (typicky 10 až 15 °C). U těchto místností nelze takto nízkou teplotu vnitřního vzduchu použít i pro letní měsíce – to by ve skutečnosti znamenalo, že tyto místnosti budou v letním období

chlazené! Doporučuje se proto v těchto případech průměrnou měsíční návrhovou teplotu vnitřního vzduchu v teplejších částech roku odhadem zvýšit.

Tab. 4: Přírážka na vyrovnání rozdílu mezi návrhovou vnitřní teplotou a teplotou vnitřního vzduchu

Budova	Přírážka $\Delta\theta_{ai}$ [°C]		
	Vytápění radiátory ústředního topení	Vytápění sálavé (např. podlahové vytápění)	Vytápění konvekční
bytová a občanská do roku 1975	2,0	1,0	3,0
bytová a občanská od 1975 do 1995	1,0	0,5	1,5
bytová a občanská po roce 1995	0,6	0,3	0,9
nízkoenergetická	0		
průmyslová s velmi lehkou a lehkou prací	1,0	0,5	1,5
průmyslová se středně těžkou a těžkou prací	2,0	1,0	3,0

Poznámka: Hodnoty v tabulce platí pro původní budovy. Budova po rekonstrukci se považuje za novostavbu.

Závěrem se ještě zmiňme o posuzování konstrukcí u vysokých objektů (např. hal), kde je nutné počítat se zvyšováním teploty vnitřního vzduchu se stoupající výškou vnitřního prostoru. Norma ČSN 730540-3 doporučuje počítat v takových případech se vzestupem návrhové teploty vnitřního vzduchu o 0,3 °C na každý metr výšky místnosti, počínaje úrovní 1,5 m nad podlahou. Zmíněné zvýšení teploty vzduchu se uplatní pro všechny místnosti se světlou výškou nad 5 m.

1.2.2. Relativní vlhkost

Správné stanovení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu je dosti důležitou součástí každého výpočtu, protože na něm značně závisí výsledné tepelně vlhkostní chování konstrukcí. Ve výpočtech se nejčastěji používá tabulková **návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu**, která je pro různé typy místností uvedena v Tab. I.1 v ČSN 730540-3. Obvykle se jedná o hodnotu **50%**, která se používá pro všechny běžné, přirozeně větrané prostory s výjimkou prostorů se suchými, vlhkými a mokřými provozy či s klimatizací (tam se vychází obvykle z projektu VZT).

Pokud se hodnotí nuceně větraný prostor se známou výměnou vzduchu a se známými zdroji vlhkosti, je možné relativní vlhkost vnitřního vzduchu spočítat. Použít lze například vztah z ČSN EN ISO 13788

$$\varphi_i = \frac{\frac{\varphi_e \cdot p_{e,sat}}{100} + 462 \cdot \frac{G}{n \cdot V} \cdot \frac{T_i + T_e}{2}}{p_{i,sat}} \cdot 100, \quad [\%] \quad (6)$$

kde φ_e je relativní vlhkost venkovního vzduchu v %, $p_{e,sat}$ je částečný tlak nasycené vodní páry ve venkovním vzduchu v Pa, G je produkce vodní páry v interiéru v kg/s, n je násobnost výměny vzduchu v 1/s, V je objem vzduchu v interiéru v m³, T_i je absolutní teplota vnitřního vzduchu v K, T_e je absolutní teplota venkovního vzduchu v K a $p_{i,sat}$ je částečný tlak nasycené vodní páry ve vnitřním vzduchu v Pa. Potřebné částečné tlaky nasycené vodní páry lze stanovit ze vztahů

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} \quad \text{pro } \theta \geq 0 \text{ °C} \quad [\text{Pa}] \quad (7)$$

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} \quad \text{pro } \theta < 0 \text{ °C}.$$

Pro výpočet roční bilance vodní páry podle ČSN EN ISO 13788 jsou i v případě relativních vlhkostí nutné jejich **průměrné měsíční hodnoty**. Tyto hodnoty se stanovují trojím způsobem podle typu hodnoceného prostoru:

- u klimatizovaných místností se relativní vlhkost definuje pro jednotlivé měsíce jako známá konstanta
- u místností se známou produkcí vodní páry a výměnou vzduchu (např. při nuceném větrání) je možné relativní vlhkost pro jednotlivé měsíce vypočítat ze vztahu (6)
- a konečně u běžných přirozeně větraných místností se provádí jejich zařazení do vlhkostních tříd a relativní vlhkost vnitřního vzduchu se pak následně stanovuje na základě vlhkosti vnějšího vzduchu a přírážky odpovídající příslušné vlhkostní třídě.

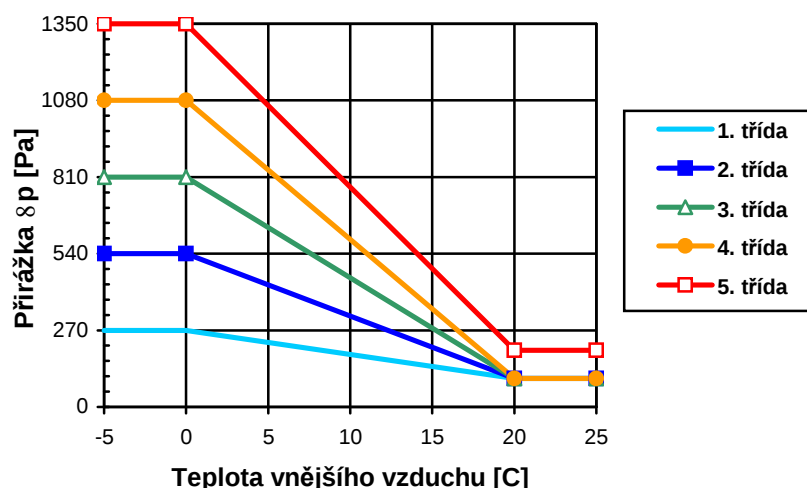
Podívejme se více na poslední z možností, protože jde o nejtypičtější situaci v bytových a občanských stavbách v ČR. Průměrná relativní vlhkost se stanovuje pro každý měsíc ze vztahu

$$\varphi_i = \left(\frac{\varphi_e \cdot p_{e,sat}}{100} + \Delta p \right) \cdot \frac{100}{p_{i,sat}}, \quad [\%] \quad (8)$$

kde Δp je zvýšení částečného tlaku vodní páry ve vnitřním vzduchu vlivem vnitřního provozu v Pa. Objekty pozemních staveb jsou v ČSN EN ISO 13788 rozděleny z hlediska svého provozu na pět základních vlhkostních tříd (Tab. 5). Pro každou vlhkostní třídu je definována vlhkostní přírážka Δp závislá na aktuální teplotě venkovního vzduchu (Obr. 11). Nejvyšší přírážka je vždy při nejnižších venkovních teplotách vzhledem k tomu, že se v těchto podmínkách předpokládá nejnižší větrání. Přírážky jsou samozřejmě jen odborným odhadem, který vychází z obvyklé vlhkosti vnitřního vzduchu v různých přirozeně větraných stavbách v Evropě. Pro posuzování běžných přirozeně větraných bytových a občanských staveb se používá vždy **3. vlhkostní třída**¹. V případě méně častých suchých či naopak vlhkých a mokrých provozů se postupuje individuálně, obvykle podle projektové dokumentace.

Tab. 5: Vlhkostní třídy podle ČSN EN ISO 13788

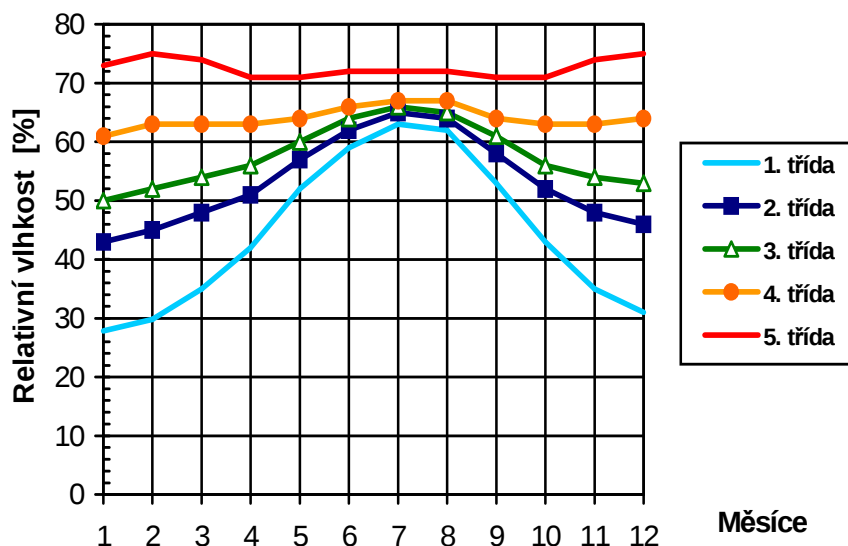
Vlhkostní třída	Budova, provoz
1	Skлады a ostatní objekty bez zdrojů vlhkosti a bez pobytu osob
2	Kanceláře a obchody s nucenou výměnou vzduchu
3	Obytné budovy s malým obsazením osobami
4	Běžné obytné budovy, kuchyně, jídelny
5	Budovy s vlhkým provozem (prádelny, plavecké bazény, sportovní haly atd.)



Obr. 11 Přírážky Δp pro vlhkostní třídy podle ČSN EN ISO 13788

¹ V roce 2012 byla vydána revize EN ISO 13788, v níž došlo k upravení a posunutí vlhkostních tříd. Dosud nerevidovaná ČSN 730540-3 sice stále předepisuje, že se pro posuzování běžných budov má uvažovat 4. vlhkostní třída, ale této úrovni nově odpovídá třída třetí.

Pokud se počítá relativní vlhkost vnitřního vzduchu podle vztahu (8), přestává být v průběhu roku konstantní. Lépe pak odpovídá skutečným relativním vlhkostem v interiérech staveb bez vzduchotechniky, pro které je typická právě proměnná relativní vlhkost vnitřního vzduchu (v létě vyšší, v zimě nižší). Na Obr. 12 je pro ilustraci uveden charakteristický roční průběh relativní vlhkosti vnitřního vzduchu pro různé vlhkostní třídy. Průběhy platí pro Prahu a pro návrhovou teplotu vnitřního vzduchu 21 °C během celého roku.



Obr. 12 Roční průběh relativní vlhkosti vnitřního vzduchu

Ještě je třeba upozornit, že ČSN 730540-3 požaduje zavést do výpočtu difúze vodní páry a její roční bilance bezpečnostní přírůzek 5 % k relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Pro běžné bytové a občanské stavby se tedy při těchto výpočtech obvykle použije výsledná hodnota relativní vlhkosti 55 %. Přírůzek 5 % zohledňuje nepřesnosti použité výpočtové metody a kolísání reálných okrajových podmínek. Pozor ovšem při použití specializovaných programů – do některých z nich se tato přírůzka nezadává, protože ji programy přidávají samy automaticky (např. Teplo).