

PROJEKT III. (IV.) - Vzduchotechnika

1. Popis výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor podle ČSN

Autor: Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
Organizace: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní
Ústav techniky prostředí
E-mail: Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz
Web: <http://www.fsid.cvut.cz/~zmrhavl>

1. SEZNAM POUŽITÝCH OZNAČENÍ

A	amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu	[K]
a	sluneční azimut	[°]
c_o	korekce na čistotu atmosféry	[-]
h	výška slunce nad obzorem	[°]
Q	tepelný tok (tepelný výkon)	[W]
I	intenzita sluneční radiace	[W/m ²]
I_0	sluneční konstanta $I_0 = 1350$	[W/m ² K]
I_d	intenzita difúzní sluneční radiace	[W/m ² K]
I_D	intenzita přímé sluneční radiace	[W/m ² K]
M	číslo měsíce	[-]
M	hmotnost	[kg]
m	součinitel zmenšení teplotního kolísání	[-]
n	počet	[-]
P	elektrický příkon	[W]
s	stínící součinitel	[-]
S	plocha	[m ²]
t	teplota	[°C]
T	propustnost sluneční radiace	[-]
U	součinitel prostupu tepla oknem	[W/m ² K]
Z	součinitel znečištění atmosféry	[-]
α	úhel stěny s vodorovnou rovinou	[°]
ε	součinitel poměrné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci	[-]
δ	sluneční deklinace	[°]
γ	azimutový úhel normály stěny	[°]
τ	sluneční čas	[h]
ψ	fázové posunutí teplotních kmitů	[-]
θ	úhel mezi normálou povrchu a směrem slunečních paprsků	[°]

2. ZÁKLADNÍ VÝPOČTY

2.1. VÝPOČET POLOHY SLUNCE

Sluneční deklinace δ

Je zeměpisná šířka, kde je v daný den ve dvanáct hodin v poledne slunce kolmo nad obzorem.

$$\delta = -23,5 \cos(30M) \quad (1)$$

kde M číslo měsíce (1 – 12)

Tab. 1 Sluneční deklinace δ v jednotlivých měsících (vždy k 21. dnu v měsíci)

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
$\delta [^\circ]$	0,0	11,8	20,4	23,5	20,4	11,8	0,0	-11,8

Výška slunce nad obzorem h

Pro 50° severní šířky (ČR) se určuje dle vztahu (Obr.1)

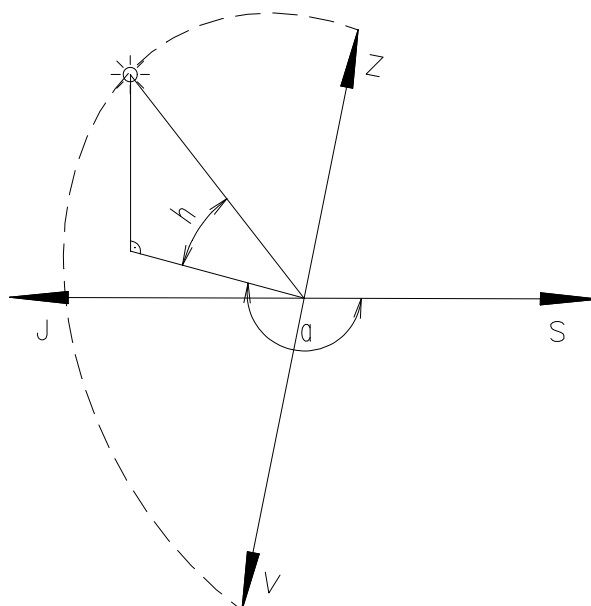
$$\sinh = 0,766 \sin \delta - 0,643 \cos \delta \cdot \cos(15\tau) \quad (2)$$

kde τ sluneční čas [h]

Sluneční azimut a

Určuje se od směru sever po směru otáčení hodinových ručiček (Obr.1)

$$\sin a = \frac{\sin(15\tau) \cdot \cos \delta}{\cosh} \quad (3)$$



Obr. 1 Pohyb slunce po obloze

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků θ

$$\cos \theta = \sinh \cdot \cos \alpha + \cosh \cdot \sin \alpha \cdot \cos (a - \gamma) \quad (4)$$

Pro svislou stěnu platí

$$\cos \theta = \cosh \cdot \cos (a - \gamma) \quad (5)$$

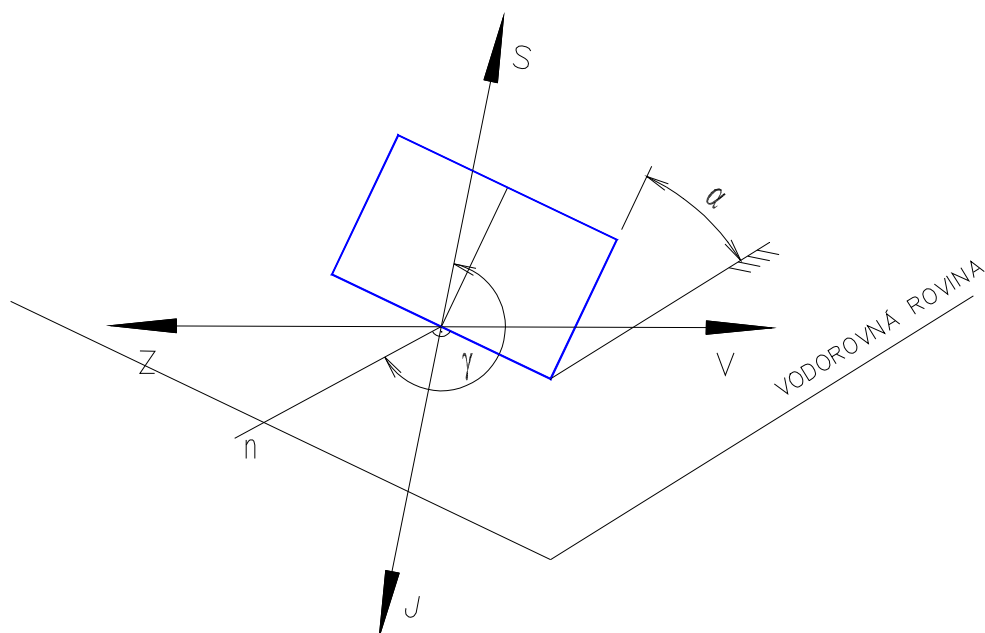
a pro vodorovnou stěnu platí

$$\cos \theta = \sinh \quad (6)$$

kde α úhel stěny s vodorovnou rovinou, vzatý na straně odvrácené od slunce (Obr. 2) [°]
 γ azimutový úhel normály stěny, vzatý od směru sever po směru otáčení hodinových ručiček (Obr. 2) [°]

Tab. 2 Hodnoty azimutu stěny γ pro jednotlivé světové strany

Světová strana	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
γ [°]	0	45	90	135	180	225	270	315



Obr. 2 Orientace stěny

2.2. INTENZITA SLUNEČNÍ RADIACE

V následujícím textu je ve shodě s platnou ČSN 73 0548 používán termín „intenzita sluneční radiace“. V současné době terminologie z oboru solární tepelné techniky i odpovídající normy ČSN EN nahrazují termín „intenzita sluneční radiace“ termínem „sluneční ozáření“.

Intenzitu sluneční radiace určuje poloha slunce k danému místu na zeměkouli. Sluneční radiace může být dvojího druhu:

- **přímá sluneční radiace** – je působena přímým zářením slunce; je směrová
- **nepřímá (difúzní) sluneční radiace** - vzniká rozptylem a odrazem přímé sluneční radiace od prachových částic ve vzduchu, od větších molekul a od osluněných povrchů; je všesměrová

Sluneční konstanta I_0

Intenzita sluneční radiace na hranici zemské atmosféry; průměrná hodnota činí 1350 W/m^2 .

Intenzita přímé sluneční radiace

Pro 300 m n.m. (průměr měst v ČR) je

$$I_D = I_0 \exp[-0,097z(\sin h)^{-0,8}] \quad (7)$$

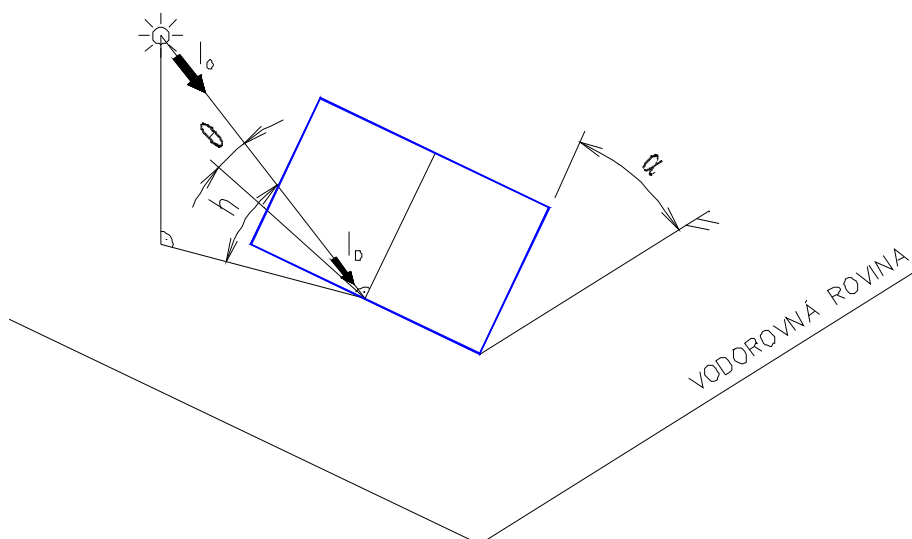
kde I_0 sluneční konstanta $I_0 = 1350 \text{ [W/m}^2]$
 z součinitel znečištění atmosféry [-]

Tab. 3 Doporučované hodnoty součinitele znečištění atmosféry z v jednotlivých měsících

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
z [-]	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu

$$I_{DS} = I_0 \exp[-0,097z(\sin h)^{-0,8}] \cos \theta \quad (8)$$



Obr. 3 Sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu

Součinitel znečištění atmosféry z

Součinitel, udávající kolikrát by musela být čistá atmosféra hmotnější, aby měla stejnou propustnost pro sluneční radiaci, jako atmosféra znečištěná.

$$z = \frac{\ln(I_D / I_0)}{\ln(I_{\check{c}} / I_0)} \quad (9)$$

kde $I_{\check{c}}$ intenzita sluneční radiace při průchodu čistou atmosférou [W/m²K]

Tab. 4 Doporučované hodnoty znečištění atmosféry pro jednotlivé měsíce v roce

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
z [-]	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0

Intenzita difusní sluneční radiace

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4I_D) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \frac{\sinh}{3} \quad (11)$$

Intenzita celkové sluneční radiace

$$I_c = I_{DS} + I_d \quad (13)$$

2.3. INTENZITA SLUNEČNÍ RADIACE PROCHÁZEJÍCÍ STANDARDNÍM ZASKLENÍM

Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace T_D standardním sklem

Závisí na úhlu dopadu slunečních paprsků a určí se dle vztahu

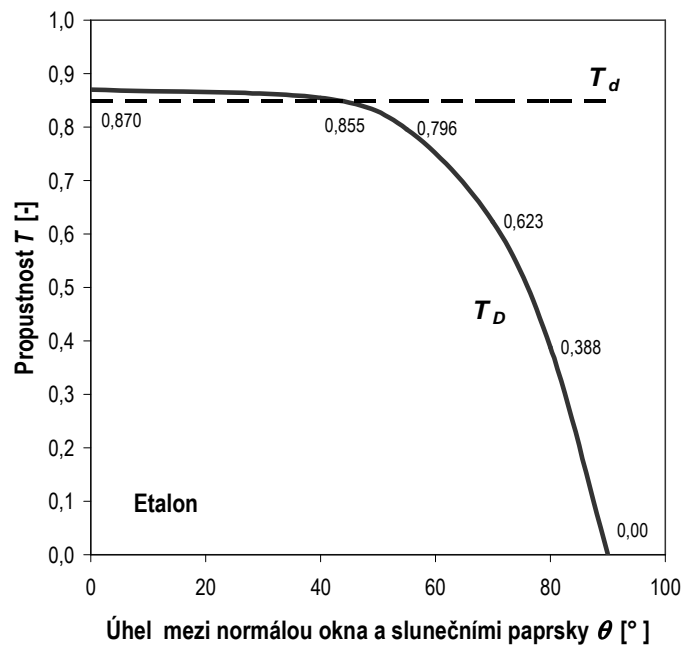
$$T_D = 0,87 - 1,47 \left(\frac{\theta}{100} \right)^5 \quad (14)$$

Celková propustnost difusní sluneční radiace T_d standardním sklem

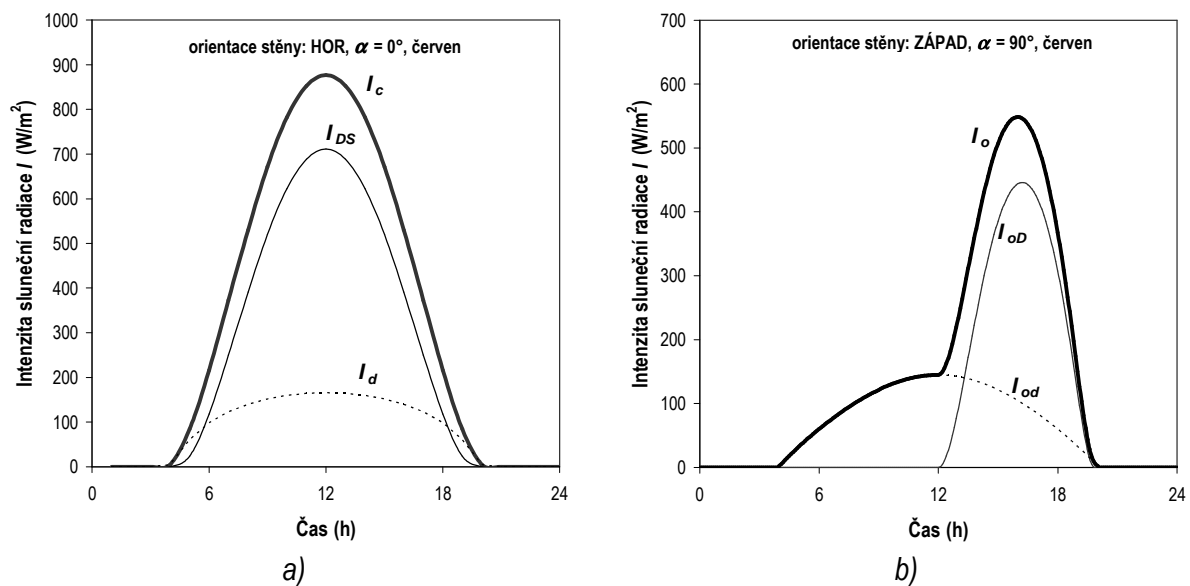
$$T_d = 0,85 \quad (15)$$

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením

$$I_o = I_{DS} T_D + I_d T_d \quad (16)$$



Obr. 4 Příklad závislosti T_D na úhlu dopadu



Obr. 5 Teoretické závislosti intenzity sluneční radiace
 a) dopadající na horizontální plochu
 b) procházející vertikálním standardním zasklením (orientace na západ, červen)

2.4. VÝPOČET TEPLoty VENKOVNÍHO VZDUCHU

$$t_e = t_{e\max} - A[1 - \sin(15\tau - 135)] \quad (17)$$

kde A amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu [K]

τ sluneční čas [h]

$t_{e\max}$ maximální teplota v příslušném měsíci [°C]

Tab. 5 Doporučované maximální teploty vzduchu v jednotlivých měsících

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
t_{emax} [°C]	19,0	22,0	26,5	28,5	30,0	30,0	27,5	23,5

3. VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ Z VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ

3.1. TEPELNÁ ZÁTĚŽ OKNY

3.1.1. PROSTUP TEPLA OKNEM KONVEKČÍ

$$Q_{ok} = U_o S_o (t_e - t_i) \quad (18)$$

kde U_o součinitel prostupu tepla oknem [W/m²K]
 S_o plocha okna včetně rámu [m²]
 $t_e - t_i$ rozdíl teplot mezi venkovním a vnitřním prostředím [K]

3.1.2. PROSTUP TEPLA OKNEM RADIACÍ

$$Q_{or} = [S_{os} I_o c_o + (S_o - S_{os}) I_{od}] s \cdot n_o \quad (19)$$

kde S_{os} osluněný povrch okna [m²]
 I_o celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením [W/m²]
 I_{od} intenzita difusní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením [W/m²]
 n_o počet oken [-]
 s stínící součinitel [-]
 c_o korekce na čistotu atmosféry [-]

Tab. 6 Korekce na čistotu atmosféry c_o

oblast	venkovská	průmyslová
c_o [-]	1,15	0,85

Stínící součinitel

Bezrozměrná veličina, určená poměrem tepelného toku sledovanou průhlednou nebo průsvitnou plochou a tepelného toku standardním oknem za stejných podmínek sluneční radiace.

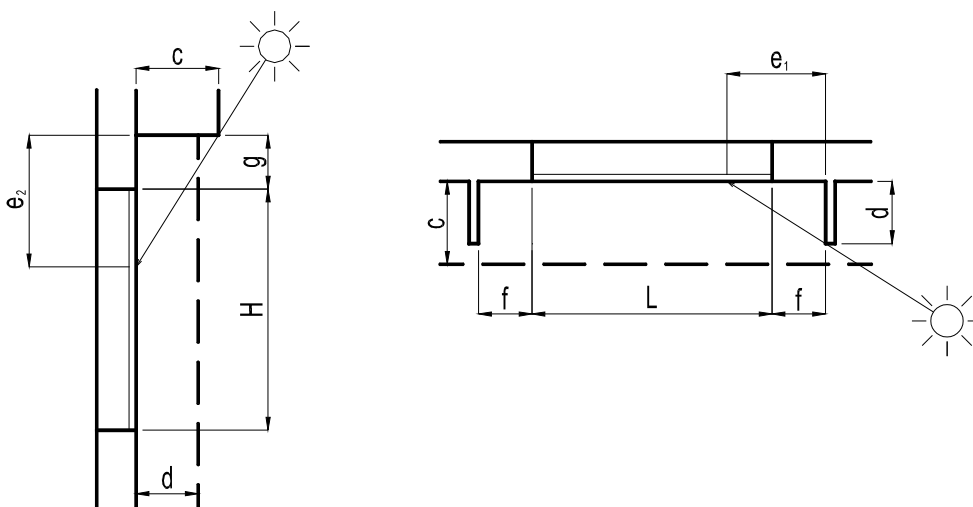
$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n$$

Osluněný povrch okna

$$S_{os} = [L - (e_1 - f)] \cdot [H - (e_2 - g)] \quad (20)$$

kde L šířka zasklené části okna [m]
 H výška zasklené části okna [m]
 f odstup vodorovné části okna od slunolamů [m]
 g odstup svislé části okna od slunolamů [m]

- e_1, e_2 délky stínů v okenním otvoru od okraje slunolamů [m]
 c hloubka okna vzhledem k horní stínící desce [m]
 d hloubka okna [m]



Obr. 6 Oslunění oken

$$e_1 = d |\tan(a - \gamma)| \quad (21)$$

$$e_2 = c \left| \frac{\tan h}{\cos(a - \gamma)} \right| \quad (22)$$

Snížení tepelných zisků od oslunění

Část tepelných zisků od sluneční radiace postupující okny, dopadá na vnitřní povrchy stěn v místnosti a do těchto stěn se akumuluje. Množství tepla naakumulovaného do stěn snižuje tepelné zisky od oslunění a vypočítá se jako

$$\Delta Q = 0,05M \cdot \Delta t \quad (23)$$

- kde ΔQ snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění oken [W]
 M hmotnosti obvodových stěn (bez vnější stěny), podlahy a stropu, které přicházejí do úvahy pro akumulaci [K]
 Δt maximální přípustné překročení požadované teploty v klimatizovaném prostoru [K]

Jako hmotnost stěn pro akumulaci tepla se uvažuje hmotnost poloviční tloušťky vnitřních stěn, podlahy a stropu. V případě stěny o tloušťce větší než 160 mm se pro akumulaci uvažuje nejvýše tloušťka stěny 80 mm. Je-li na podlaze umístěn koberec, uvažuje se jen $\frac{1}{4}$ hmotnosti podlahy.

Hodnota maximálních tepelných zisků radiací snižená o část, která se akumuluje do vnitřních stěn se následně porovná s průměrnými tepelnými zisky radiací v době provozu zařízení

$$Q_{orm} = \frac{\sum Q_{ori}}{n} \quad [W] \quad (24)$$

kde n počet hodin provozu [-]

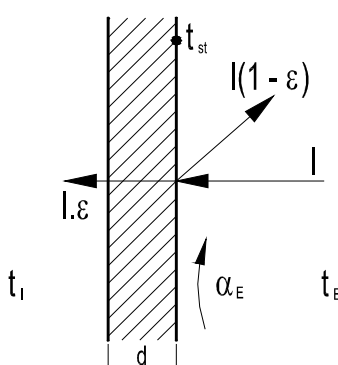
Na základě porovnání výsledků se určí hodnota uvažovaná pro další výpočty:

$$Q_{or\ max} - \Delta Q < Q_{orm} \quad \Rightarrow \quad \text{dále počítáme s } Q_{orm}$$

$$Q_{or\ max} - \Delta Q > Q_{orm} \quad \Rightarrow \quad \text{dále počítáme s } Q_{ormax} - \Delta Q$$

3.1.3. TEPELNÉ ZISKY STĚNAMI

U místností s prosklenými plochami má prostup tepla stěnou, z hlediska celkové tepelné zátěže malý, téměř zanedbatelný význam. Vliv se projevuje zejména u místností s lehkou fasádou, u rozlehlých objektů (průmyslové haly), u místností kde strop tvoří zároveň střechu atp.



Stěny vystavené účinku slunečního záření vykazují na osluněné straně vysoké povrchové teploty. Pro tyto případy je tepelný tok stěnou

$$\alpha_e (t_e - t_s) + \varepsilon I = \alpha_e (t_r - t_s) \quad (25)$$

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon I}{\alpha_e} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (26)$$

kde I intenzita sluneční radiace dopadající na stěnu [W/m^2]
 α_e součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny = 15 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 ε součinitel poměrné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci = 0,6 [-]

Stěny lehké ($d \leq 80$ mm)

Tepelná kapacita lehkých stěn je malá, tzn. fázové posunutí teplotních kmitů je zanedbatelné. Prostup tepla stěnou je možné považovat za ustálený.

$$Q_s = U_{st} S_{st} (t_r - t_i) \quad (27)$$

Stěny středně těžké ($80 \leq d \leq 450$ mm)

U středně těžkých stěn je třeba respektovat kolísání teplot v důsledku nestacionárního vedení tepla.

$$Q_s = U_{st} S_{st} \left[(t_{rm} - t_i) + m(t_{r\psi} - t_{rm}) \right] \quad (28)$$

Stěny těžké ($d \geq 450$ mm)

Těžké stěny mají vysokou tepelnou kapacitu, tzn. že kolísání teplot na vnitřním povrchu stěny lze zanedbat.

$$Q_s = U_{st} S_{st} (t_{rm} - t_i) \quad (29)$$

kde t_r rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu [°C]
 t_{rm} průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin [°C]
 $t_{r\psi}$ rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější [°C]
 m součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou [-]
 ψ fázové posunutí teplotních kmitů [-]

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon l}{\alpha_e} \quad (30)$$

$$\psi = 32d - 0,5 \quad (31)$$

$$m = \frac{1 + 7,6d}{2500^d} \quad (32)$$

kde d tloušťka stěny [m]

4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ OD VNITŘNÍCH ZDROJŮ TEPLA

K vnitřním zdrojům tepla patří především tepelný tok vznikající od:

- lidí,
- svítidel,
- strojů,
- elektronického vybavení, atp.

4.1. TEPELNÉ ZISKY OD LIDÍ

$$Q_L = 6,2n_L(36 - t_i) \quad (33)$$

kde n_L počet lidí [-]

Tab. 7 Produkce tepla od lidí pro zadanou teplotu vzduchu

Činnost člověka	Místa činnosti	Teplota vzduchu t_i							
		24		25		26		28	
		Q_L	M_L	Q_L	M_L	Q_L	M_L	Q_L	M_L
Sezení, odpočinek	divadlo, kino	74	60	68	70	62	79	50	97
Sezení, mírná aktivita	kancelář, byt	74	98	68	107	62	116	50	135
Stojící lehká práce	obchody, sklady	72	116	66	125	60	134	48	152
Chodící, přecházející	obchodní domy, banky	77	124	70	134	64	143	51	162

4.2. TEPELNÉ ZISKY OD OSVĚTLENÍ

$$Q_{SV} = q_{sv} S_{osv} \quad [W] \quad (34)$$

Tab. 8 Produkce tepla od osvětlení

Pracoviště	Intenzita osv.	žárovky	zářivky
	[lx]	[W/m ²]	[W/m ²]
Skladiště, byty, restaurace, divadla	120	20 - 30	7 - 9
Učebny, pokladny	250	40 - 55	13 - 18
Kanceláře, výpočetní střediska, výzkum	500	75 - 105	25 - 35
Výstavy, obchodní domy, jemná montáž	750	115 - 160	38 - 53
Montáž elektroniky, retuš	1000		50 - 70
Nejnáročnější jemná montáž, elektronika	1500		75 - 105
Hodinářství, subminiaturní elektronika	2000		100 - 140
Televizní studia	nad 2000		nad 140

4.3. TEPELNÉ ZISKY OD TECHNOLOGIE

$$Q = c_1 c_2 c_3 \sum P \quad (35)$$

kde Q tepelná zátěž [W]
 P elektrický příkon [W]
 c_1 součinitel současnosti [-]
 c_2 zbytkový součinitel [-]
 c_3 součinitel zatížení (využití) stroje [-]

Koeficienty c_1 , c_2 , c_3 jsou určeny pro každý typ stroje nebo zařízení samostatně. Součinitel současnosti c_1 zohledňuje současnost provozu jednotlivých zařízení. Zbytkový součinitel c_2 se používá v případě, že se část tepelného výkonu nedostává do prostoru ale je odvedena přímo, například odsávacím zákrytem nebo vodním chlazením (tímto součinitelem je možné postihnout i odvod tepla materiálem nebo mechanickou prací). Součinitel zatížení (využití) stroje c_3 respektuje skutečnou provozní spotřebu, která se může od štítkové maximální hodnoty výrazně lišit.

4.3.1. TEPELNÉ ZISKY OD ELEKTRONICKÉHO VYBAVENÍ

Počítače

Tab. 9 Přehled maximálních výkonů počítačů

	Maximum [W]	Startovací [W]	Provoz [W]
Průměrná hodnota	110	80	90
Bezpečná hodnota	145	95	105
Velmi bezpečná hodnota	200	150	165

Monitory

Tab. 10 Přehled maximálních výkonů počítačů

Velikost	Provoz [W] CRT	Provoz [W] LCD
Malý monitor 13-15"	55	20
Střední monitor 16-18"	75	35
Velký monitor 19-20"	90	50

Laserové tiskárny

Tab. 11 Přehled maximálních výkonů laserových tiskáren

Velikost zařízení	Provoz max. [W]	1 list/min [W]	Útlum [W]
Malá stolní	130	75	10
Stolní	215	100	35
Malé kanceláře	320	160	70
Velké kanceláře	550	275	125

Kopírovací stroje

Tab. 12 Přehled maximálních výkonů kopírovacích strojů

Velikost zařízení	Provoz max. [W]	1 list/min [W]	Útlum [W]
Malá stolní	400	85	20
Velké kanceláře	1100	400	300

Ostatní kancelářské zařízení

Tab. 13 Přehled maximálních výkonů kancelářských zařízení

Zařízení	Provoz [W]	Útlum [W]
Fax	30	15
Scanner	25	15
Jehličková tiskárna	50	25

5. POUŽITÉ ZDROJE

- [1] DUŠKA, M., DRKAL, F., LAIN, M. *Tepelné zisky z vnitřních vybavení administrativních budov.* In *Klimatizace a větrání - sborník přednášek*, Praha 2004, s.7-15.
- [2] DUŠKA, M., LUKEŠ, J., BARTÁK, M., DRKAL, F., HENSEN J. *Trend in Heat Gains from Office Equipment.* In: *Indoor Climate of Buildings '07*. Bratislava: Slovenská spoločnosť pro techniku prostredia, 2007, p. 363-368. ISBN 978-80-89216-18-5.
- [3] ČSN 73 0548: 1985 *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*, Úřad pro normalizaci a měření, Praha 1985.