



DIPLOMOVÁ PRÁCE

PŘÍLOHA Č. 1
UKÁZKA VÝPOČTU TEPELNÉ ZÁTĚŽE

Výpočet polohy slunce

Sluneční deklinace δ

Je to zeměpisná šířka, která určuje kdy je v daný den slunce ve dvanáct hodin odpoledne kolmo nad obzorem. Výpočet se provádí pro 21. den v měsíci. Sluneční deklinace je dána vztahem

$$\delta = -23,5 \cos(30 \cdot M) = -23,5 \cos(30 \cdot 10) = -11,75^\circ \quad (1)$$

kde:

M číslo měsíce (1-12).

Výška slunce nad obzorem h

Pro celou Českou republiku se uvažuje 50° severní šířky a provádí se výpočet dle vztahu:

$$\begin{aligned} \sin h &= 0,766 \sin \delta - 0,643 \cos \delta \cdot \cos(15\tau) \\ h &= \arcsin(0,766 \sin \delta - 0,643 \cos \delta \cdot \cos(15\tau)) \\ &= \arcsin(0,766 \sin(-11,75) - 0,643 \cos(-11,75) \cdot \cos(15 \cdot 12)) = 28,26^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

kde:

δ sluneční deklinace [°];

τ sluneční čas [h].

Sluneční azimut a

Určuje se od směru sever po směru hodinových ručiček. Dán výpočet:

$$\begin{aligned} \sin a &= \frac{\sin(15\tau) \cdot \cos \delta}{\cosh} \\ a &= \arcsin\left(\frac{\sin(15\tau) \cdot \cos \delta}{\cosh}\right) = \arcsin\left(\frac{\sin(15 \cdot 12) \cdot \cos(-11,75)}{\cos 44}\right) = 180^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

kde:

δ sluneční deklinace [°];

τ sluneční čas [h];

h výška slunce nad obzorem [°].

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků Θ

$$\cos \Theta = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos (a - \gamma)$$

$$\begin{aligned} \Theta &= \arccos(\sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - \gamma)) \\ &= \arccos(\sin 28,26 \cdot \cos 90 + \cos 28,26 \cdot \sin 90 \\ &\quad \cdot \cos(180 - 180)) = 28,26^\circ \end{aligned} \quad (4)$$

kde:

a sluneční azimut [°];

α úhel stěny s vodorovnou rovinou, vzatý na stěně odvrácené od slunce [°];

γ azimutový úhel normály stěny, vzatý od směru sever po směru otáčení hodinových ručiček [°].

Intenzita sluneční radiace

Intenzita přímé sluneční radiace I_D

Pro místa 300 m. n. m. (průměr měst v ČR) se intenzita přímé sluneční radiace počítá podle vztahu:

$$\begin{aligned} I_D &= I_0 \cdot \exp[-0,097 z(\sin h)^{-0,8}] = 1350 \cdot \exp[-0,097 \cdot 3(\sin 28,26)^{-0,8}] \\ &= 795 \text{ W/m}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

kde:

I_0 sluneční konstanta $I_0=1350$ [W/m²];

z součinitel znečištění atmosféry [-].

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu

I_{DS}

Platí pro ni vztah:

$$\begin{aligned} I_{DS} &= I_0 \cdot \exp[-0,097 z(\sin h)^{-0,8}] \cos \Theta \\ &= 1350 \cdot \exp[-0,097 \cdot 3(\sin 28,26)^{-0,8}] \cos 28,26 \\ &= 700 \text{ W/m}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

kde:

I_0 sluneční konstanta $I_0=1350$ [W/m^2];

z součinitel znečištění atmosféry [-];

Θ úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků [-].

Intenzita difusní sluneční radiace I_d

$$\begin{aligned} I_d &= \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \frac{\sin h}{3} \\ &= \left[1350 - 795 - (1080 - 1,4 \cdot 795) \sin^2 \frac{90}{2} \right] \frac{\sin \cdot 28,26}{3} \\ &= 90 \text{ W/m}^2 \end{aligned} \quad (7)$$

kde:

I_D intenzita přímé sluneční radiace [W/m^2];

α úhel stěny s vodorovnou rovinou, vzatý na stěně odvrácené od slunce [°];

h výška slunce nad obzorem [°].

Celková intenzita sluneční radiace I_C

$$I_C = I_{DS} + I_d = 700 + 91 = 791 \text{ W/m}^2 \quad (8)$$

kde:

I_{DS} intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu [W/m²];

I_d intenzita difuzní sluneční radiace [W/m²].

Intenzita sluneční radiace procházející standardním zasklením

Celková poměrná propustnost přímé sluneční radiace T_D standardním zasklením

Odvíjí se od úhlu dopadu slunečních paprsků a vyjadřuje ho vztah:

$$T_D = 0,87 - 1,47\left(\frac{\Theta}{100}\right)^5 = 0,87 - 1,47\left(\frac{28,26}{100}\right)^5 = 0,87 \quad (9)$$

kde:

Θ úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků [-].

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením I_0

$$I_0 = I_{DS} \cdot T_D + I_d \cdot T_d = 700 \cdot 0,87 + 91 \cdot 0,85 = 684 \text{ W/m}^2 \quad (10)$$

kde:

I_{DS} intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu [W/m²];

I_d intenzita difuzní sluneční radiace [W/m²];

T_D celková poměrná propustnost sluneční radiace standardním sklem [-];

T_d celková propustnost difúzní sluneční radiace standardním sklem $T_d=0,85$ [-].

Výpočet teploty venkovního vzduchu t_e

$$t_e = t_{emax} - A[1 - \sin(15\tau - 135)] = 23,5 - 7[1 - \sin(15 \cdot 12 - 135)] = 21,4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

kde:

A amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu [K];

τ sluneční čas [h];

t_{emax} maximální teplota v příslušném měsíci [$^\circ\text{C}$].

Výpočet tepelné zátěže z vnějšího prostředí

Prostup tepla konvekcí oknem Q_{OK}

$$Q_{OK} = U_{OK} \cdot S_{OK} \cdot (t_e - t_i) = 0 \text{ W} \quad (12)$$

Námi uvažovaná fasáda nemá žádné okna, proto výsledek vychází nulový.

kde:

U_{OK} součinitel prostupu tepla oknem [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

S_{OK} plocha okna [m^2];

t_e teplota venkovního vzduchu [$^\circ\text{C}$];

t_i teplota vnitřního vzduchu [$^\circ\text{C}$].

Jak bylo popsáno výše, nemáme žádná okna a proto i prostup tepla radiací bude $Q_{OR}=0 \text{ W}$.

Tepelné zisky stěnami

Tloušťka uvažované fasády je rovna $\delta_s=0,25$ m. Podle uvažované normy ČSN 73 0548 [6] tato fasáda spadá do kategorie středně těžkých stěn. Zde je tedy potřeba počítat s kolísáním teplot v důsledku nestacionárního vedení tepla.

Fázové posunutí teplotních kmitů Ψ

$$\Psi = 32\delta_s - 0,5 = 32 \cdot 0,25 - 0,5 = 8 \quad (13)$$

kde:

δ_s tloušťka stěny [m].

Součinitel zmenšení teplotního kolísání při přestupu tepla stěnou m

$$m = \frac{1 + 7,6 \cdot \delta_s}{2500^{\delta_s}} = \frac{1 + 7,6 \cdot 0,25}{2500^{0,25}} = 0,41 \quad (14)$$

kde:

δ_s tloušťka stěny [m].

Rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu t_r

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon \cdot I_C}{\alpha_e} = 23,5 + \frac{0,6 \cdot 791}{15} = 53,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (15)$$

kde:

t_e teplota venkovního vzduchu [$^\circ\text{C}$];

α_e součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny $\alpha_e=15$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

ε součinitel poměrné tepelné vodivosti pro sluneční radiaci $\varepsilon=0,6$ [-];

I_C intenzita celkové sluneční radiace dopadající na stěnu [W/m^2].

Výsledný tepelný zisk stěnami

$$\begin{aligned} Q_S &= U_{st} \cdot S_{st} \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})] \\ &= 0,35 \cdot 49,05 \cdot [(24,8 - 18) + 0,41 \cdot (9,7 - 24,8)] \\ &= -127 \text{ W} \end{aligned} \quad (16)$$

kde:

U_{st} součinitel prostupu tepla stěnou [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

S_{st} plocha fasády [m^2];

t_{rm} průměrná rovníocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin (výpočet proveden v excelu) [$^{\circ}\text{C}$];

t_i teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$];

$t_{r\psi}$ rovníocenná sluneční teplota v době o Ψ dřívější (výpočet proveden v excelu) [$^{\circ}\text{C}$];

m součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou [-].

Tepelné zisky vnitřní konstrukcí

Jelikož je bloková dozorna přilehlá k prostorám jaderného bloku, kde je vnitřní teplota trvale 60°C , je nutné počítat i s tepelnými zisky stěnou mezi těmito prostory. Vztah pro výpočet tepelných zisků prostupem je dán:

$$Q_S = U_{st2} \cdot S_{st2} \cdot (t_{i2} - t_i) = 0,4 \cdot 40,96 \cdot (60 - 26) = 557 \text{ W} \quad (17)$$

kde:

U_{st2} součinitel prostupu tepla stěnou [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

S_{st2} plocha stěny [m^2];

t_{i2} teplota vzduchu v prostoru jaderného bloku [$^{\circ}\text{C}$];

t_i výpočtová teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$].

Vnitřní zisky prostoru

Tepelné zisky od lidí

Uvažujeme, že se v prostoru dozorny bude stále vyskytovat 10 lidí. Zisky vypočítáme dle vztahu:

$$Q_L = 6,2 \cdot n_L (36 - t_i) = 6,2 \cdot 10 \cdot (36 - 26) = 620 \text{ W} \quad (18)$$

kde:

n_L počet lidí [-];

t_i výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C].

Tepelné zisky od osvětlení a technologie

Tyto zisky byly známy od zadavatele, a proto je nebylo třeba počítat. Tyto zisky jsou dále rozděleny na zisky v prostorách obsluhy (PO) a na zisky za technologickými panely (ASŘTP). Jejich hodnoty jsou:

- tep. zisky od osvětlení v PO=8 kW
- tep. zisky od osvětlení za ASŘTP=6 kW
- tep. zisky od technologie v PO=4 kW
- tep. zisky od technologie za ASŘTP=9 kW

Výpočet tepelné zátěže podle ČSN 73 0548

Měsíc:	M	10
Orientace γ:	Jih	180
Sklon α:		90
Součinitel znečištění z		3
Korekce na čistotu atm. c ₀		0,85
Sluneční deklinace δ		-11,75

Teplota v místnosti t _i	26
Ampl.kolisání teplot A	7
Celková prop. dif. Radiace T _D	0,85
Maximální teplota venkovního vzduchu t _{em}	23,5

Plocha okna S _o	0	m ²
Stínící součinitel s	0,9	
	0,56	
	0,504	
Součinitel prostupu tepla	1,4	W/m ² K

Tloušťka stěny d	0,25	m
Dopravní spoždění ψ	8	h
Teplotní Kolisání m	0,41	-
Prostup tepla U _{st}	0,35	W/m ² K
Plocha stěny S _{st}	49,05	m ²

součinitel poměrné teploty	0,6
součinitel přestupu tepla	15

Hodina	Venkovní teplota	Sluneční azimut	Výška slunce	Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků	Intenzita přímé sluneční radiace	Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na stěnu	Intenzita difúzní sluneční radiace	Intenzita celkové sluneční radiace	Celk. poměrná propustnost přímé sluneční radiace	Intenzita sluneční rad. procházející jednočlenným standardním zasklením	Intenzita difúzní slun. rad. procházející jednočlenným standardním oknem	Rozdíl slun. azimutu a azimutu stěny	Délka stínu		Osluněná plocha	Tepelné zisky konvekce oknem	Tepelné zisky radiaci oknem	Rovnocenná sluneční teplota	Rovnocenná sluneční teplota v době o yřdivější	Tepelné zisky konvekce stěnou	Celkové zisky fasádou
	t _o	a	h	ϕ	I _D	I _{Ds}	I _d	I _c	T _D	I ₀	I _{0dif}	a-γ	e ₁	e ₂	S _{os}	Q _{OK}	Q _{OR}	t _r	t _{rw}	Q _{SK}	Q _C
	[°C]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[-]	[W/m ²]	[W/m ²]	[°]	[m]	[m]	[m ²]	[W]	[W]	[°C]	[°C]	[W]	[W]
1	10,4	14,68	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0	-	-	-	0,00	0	0	10,4	22,6	-36	-36
2	9,7	29,31	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	9,7	21,4	-44	-44
3	9,5	43,81	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	9,5	20,0	-54	-54
4	9,7	57,98	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	9,7	18,3	-66	-66
5	10,4	71,03	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	10,4	16,5	-79	-79
6	11,6	78,25	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	11,6	14,7	-92	-92
7	13,0	103,97	0,40	71,0	0	0	2	2	0,60	2	2				0,00	0	0	13,1	13,0	-104	-104
8	14,7	120,82	9,14	59,6	380	192	37	229	0,76	177	31				0,00	0	0	23,8	11,6	-114	-114
9	16,5	133,68	16,81	48,6	616	407	60	467	0,83	389	51				0,00	0	0	35,2	10,4	-122	-122
10	18,3	147,90	22,90	38,7	727	567	77	644	0,86	551	65				0,00	0	0	44,1	9,7	-127	-127
11	20,0	163,50	26,88	31,2	780	667	87	753	0,87	651	74				0,00	0	0	50,1	9,5	-128	-128
12	21,4	180,00	28,26	28,3	795	700	90	791	0,87	684	77				0,00	0	0	53,1	9,7	-127	-127
13	22,6	196,50	26,88	31,2	780	667	87	753	0,87	651	74				0,00	0	0	52,7	10,4	-122	-122
14	23,3	212,10	22,90	38,7	727	567	77	644	0,86	551	65				0,00	0	0	49,0	11,6	-114	-114
15	23,5	226,32	16,81	48,6	616	407	60	467	0,83	389	51				0,00	0	0	42,2	13,1	-103	-103
16	23,3	239,18	9,14	59,6	380	192	37	229	0,76	177	31				0,00	0	0	32,4	23,8	-27	-27
17	22,6	251,03	0,40	71,0	0	0	2	2	0,60	2	2				0,00	0	0	22,6	35,2	53	53
18	21,4	281,75	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	21,4	44,1	115	115
19	20,0	288,97	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	20,0	50,1	158	158
20	18,3	302,02	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	18,3	53,1	179	179
21	16,5	316,19	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	16,5	52,7	176	176
22	14,7	330,69	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	14,7	49,0	150	150
23	13,0	345,32	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	13,0	42,2	102	102
24	11,6	360,00	0,00	0,0	0	0	0	0	0,87	0	0				0,00	0	0	11,6	32,4	33	33

průměr: 24,8

číslo fasády	Orientace	azimut stěny	sklon	Plocha okna	Stínící součinitel	Souč. prostupu tepla oknem	Tloušťka stěny	Plocha stěny	Souč. prostupu tepla stěnou		
1		γ	α	Sok	s	Uok	d	Ss	Us		
1	jih	180	90	0	0,504	1,4	0,25	49,05	0,35		
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
Hodina	Fasáda 1	Fasáda 2	Fasáda 3	Fasáda 4	Fasáda 5	Fasáda 6	Fasáda 7	Fasáda 8	Fasáda 9	Fasáda 10	CELKEM

τ	Q_{c1}	Q_{c2}	Q_{c3}	Q_{c4}	Q_{c5}	Q_{c6}	Q_{c7}	Q_{c8}	Q_{c9}	Q_{c10}	Q_c
h	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	-35,79892										-36
2	-44,15931										-44
3	-54,36665										-54
4	-66,25334										-66
5	-79,00934										-79
6	-91,76533										-92
7	-103,652										-104
8	-113,8594										-114
9	-121,6917										-122
10	-126,6154										-127
11	-128,2947										-128
12	-126,6154										-127
13	-121,6917										-122
14	-113,8594										-114
15	-103,124										-103
16	-27,29393										-27
17	52,595164										53
18	115,11424										115
19	157,83835										158
20	178,50993										179
21	175,87805										176
22	149,96426										150
23	101,88054										102
24	33,068086										33
MAX											179

Výsledky výpočtu					
březen	113	W	v	20	hod
duben	113	W	v	20	hod
květen	160	W	v	20	hod
červen	170	W	v	21	hod
červenec	207	W	v	21	hod
srpen	250	W	v	20	hod
září	225	W	v	20	hod
říjen	179	W	v	20	hod
MAX	250	W			

20
20

LETO

Tepelné zatížení prostoru od stěny budovy s reaktorem

Teplota v prostoru za reaktorem	Souč. prostupu tepla stěny	Plocha stěny	Celkové zisky stěnou
t_{i2}	Ust_2	S_{os}	Q_{JR}
[°C]	[W/m ² K]	[m ²]	[W]
60	0,4	40,96	557

W

Tepelné ztráta prostoru stěnou do venkovního prostoru

Teplota v prostoru za reaktorem	Teplota v BD	Souč. prostupu tepla stěny	Plocha stěny	Celkové zisky stěnou
t_{i2}	t_i	$Ust1$	S_{os}	Q_{JR}
[°C]	[°C]	[W/m ² K]	[m ²]	[W]
-20,3	23	0,35	49,53	751

W

ZIMA

Tepelné zatížení prostoru od stěny budovy s reaktorem

Teplota v prostoru za reaktorem	Teplota v BD	Souč. prostupu tepla stěny	Plocha stěny	Celkové zisky stěnou
t_{i2}	t_i	Ust_2	S_{os}	Q_{JR}
[°C]	[°C]	[W/m ² K]	[m ²]	[W]
60	23	0,4	40,96	606

W

Zima		č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie obsluha	Tepelné zisky od světelné obsluha	Celkové Tepelné ztráty fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	-	QL	-	[W]	QTech1	QSV1	QF	QJR	Qcm
-	-	[W]	-	620	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
BD	10	620	4000	8000	-751	303	12196,5		

Léto		č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie obsluha	Tepelné zisky od světelné obsluha	Celkové Tepelné zisky fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	-	QL	-	[W]	QTech1	QSV1	QF	QJR	Qcm
-	-	[W]	-	620	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
BD	10	620	4000	8000	250	279	13148,8		

Zima		č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie za panely	Tepelné zisky od světelné za panely	Celkové Tepelné ztráty fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	-	QL	-	[W]	QTech2	QSV2	QF	QJR	Qcm
-	-	[W]	-	0	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
ASŘTP	0	0	9000	6000	0,0	303,1	15303,1		

Léto		č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie za panely	Tepelné zisky od světelné za panely	Celkové Tepelné zisky fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	-	QL	-	[W]	QTech2	QSV2	QF	QJR	Qcm
-	-	[W]	-	0	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
ASŘTP	0	0	9000	6000	0	279	15278,5		