

Vytápění zavěšenými sálavými panely

Část 2 – Příklad řešení

Suspended radiant panels heating

Part 2 – Example of solution

Ing. Miroslav KOTRBATÝ
grafická spolupráce
Ing. Zuzana KOVÁŘOVÁ

Článek podává praktický postup při navrhování vytápění zavěšenými sálavými panely. Je pokračováním obecného výpočtového postupu, publikovaného ve VVI č. 4/2002, s. 134–138.

Klíčová slova: sálavý panel, infiltrace, ejektor, regulace s optimalizačním programem, hydraulické řešení

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

The article gives the practical procedure of making design of suspended radiant panels heating. It represents the next part of the common calculation procedure published in VVI No. 4/2002, p. 134–138.

Key words: radiant panel, infiltration, ejector, regulation with optimisation programme, hydraulic solution

1.00 ÚVOD

Cílem konkrétního návrhu sálavé otopné soustavy není jen výpočet po stránce tepelně technické a správné rozmístění otopné plochy. Důležitým požadavkem jsou jak minimální náklady na montáž sálavých panelů, tak i podstatné omezení připojovacích potrubních rozvodů. S tím také souvisí zařazení minimálního počtu armatur – prvků s možnou poruchovostí a nárokem na obsluhu a údržbu.

Sálavá soustava se při respektování všech těchto aspektů stává téměř bezobslužná a bezúdržbová. Její životnost pak prakticky závisí na životnosti trubek v sálavých panelech a připojovacích částech soustavy. Ukazuje se, že 50 let životnosti je minimum. Soustavy namontované před padesáti lety dodnes bezproblémově pracují.

2.00 POSTUP NÁVRHU

Jako příklad řešení vytápění zavěšenými sálavými panely podle nové metodiky byla vybrána třílodní hala 3 x 18 m, délky 60 m. Na jedné čelní straně je situován sociálně administrativní přístavek. Na straně druhé pak v každé lodi vstupní vrata (obr. 1).

Základní údaje

Venkovní teplota

$$t_e = -12 \text{ °C}$$

Vnitřní teplota výsledná

$$t_g = +18 \text{ °C}$$

($t_i = +18 \text{ °C}$ v místě umístění panelů)

Teplonosná látka teplá voda

$$100/60 \text{ °C}$$

Výpočtové teploty ve zdroji

$$105/60 \text{ °C}$$

Teploty 105/100 °C se uvažují pro dimenzování regulovatelného ejektoru – viz dále.

Teplotní rozdíl pro stanovení výkonu panelů

$$\Delta t = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{2} - t_i = \frac{100 + 60}{2} - 18 = 62 \text{ K}$$

Výkony panelů viz tab.1

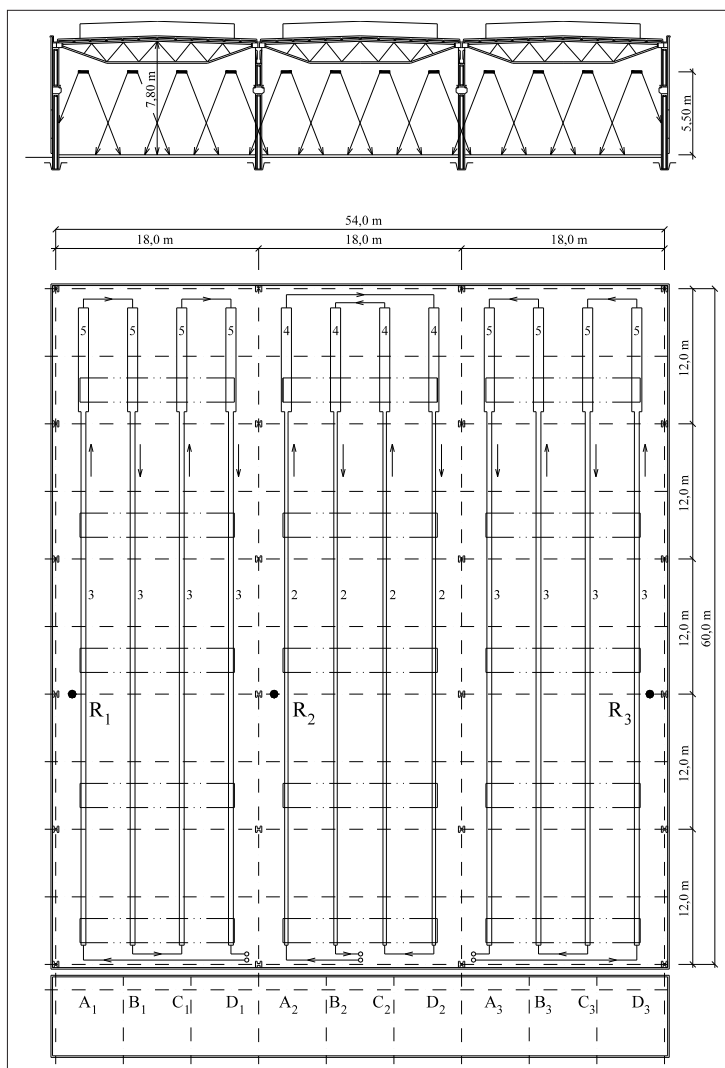
Tepelné ztráty

a) Tepelná ztráta střešního pláště jedné výrobní lodi (18 x 60 m) včetně světlíků a podlahy

$$Q_1 = 48\,500 \text{ W}$$

b) Tepelná ztráta podélného obvodového pláště (60 x 6 m) včetně oken a infiltrace

$$Q_2 = 25\,100 \text{ W}$$



Obr. 1 Návrh vytápění třílodní haly zavěšenými sálavými panely

Tab. 1 Tepelné výkony panelů (teplonosná látka voda) podle DIN V 4706

Δt	Šířka panelu [mm]							Δt	Šířka panelu [mm]							$Q = 1,1 \cdot C \cdot \Delta t^n$		
	300	450	600	750	900	1 050	1 200		300	450	600	750	900	1 050	1 200			
[K]	[W/m]							[K]	[W/m]							B	C	n
30	93	132	168	204	239	272	305	62	218	311	399	484	566	645	725	300	1,52	1,18
32	100	143	182	220	258	294	330	63	222	317	407	493	577	658	738	450	2,17	1,18
35	111	158	202	245	287	327	367	65	230	329	422	512	599	683	766	600	2,67	1,19
38	122	175	223	270	316	360	405	67	239	341	437	531	621	708	795	750	3,24	1,19
40	130	185	237	287	336	383	430	70	251	359	461	559	654	746	837	900	3,32	1,19
42	138	196	251	305	356	406	456	75	273	389	500	607	710	809	909	1 050	4,32	1,19
43	141	202	258	313	366	418	469	80	294	420	540	656	767	874	981	1 200	4,85	1,19
45	149	213	272	331	387	441	495	85	316	451	581	705	824	939	1 055			
47	157	224	287	348	407	464	521	90	338	483	622	754	882	1 006	1 129			
48	161	230	294	357	418	476	534	95	361	515	663	804	941	1 072	1 204			
50	169	241	309	375	438	500	561	100	383	547	705	855	1 000	1 140	1 280			
52	177	253	324	393	459	524	588	105	406	579	747	906	1 060	1 208	1 356			
53	181	259	331	402	470	536	601	110	429	612	789	958	1 120	1 277	1 433			
55	189	270	346	420	491	560	628	115	452	645	832	1 010	1 181	1 346	1 511			
57	197	282	361	438	512	584	656	120	475	678	875	1 062	1 242	1 416	1 590			
58	201	288	368	447	523	596	669	125	498	712	919	1 115	1 304	1 487	1 669			
60	210	299	384	466	545	621	697	130	522	745	963	1 168	1 367	1 558	1 749			

$$\Delta t = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{2} - t_1 \text{ [K]}$$

kde t_{m1} [°C] teplota teplonosné látky v přívodu
 t_{m2} [°C] teplota teplonosné látky ve vratném potrubí
 t_1 [°C] teplota vzduchu ve vytápěném prostoru

Pozor: Při použití ejektoru a regulátoru s optimalizačním programem, kdy se systémo-
 vě využívá akumulace podlahy jako druhotné otopné plochy, se může výpočtový výkon
 zvýšit o 5 %.

c) Tepelná ztráta čela jedné výrobní lodi
 (18 x 6,75 m) včetně vrat a infiltrace

$$Q_3 = 9 750 \text{ W}$$

Volená délka sálavých pásů $L_1 = 57 \text{ m}$. Každý pás bude sestaven z 9 ks panelů,
 dlouhých 6 m a jednoho panelu délky 3 m.

Zásada návrhu

„Do každé výrobní lodi se osadí taková otopná plocha, která odpovídá výpočtu
 tepelných ztrát tohoto prostoru“ s vlastní regulací výkonu – viz odst. 4, VVI č.
 4/2002, s. 134–138.

2.10 Střední loď

2.11 Výpočet otopné plochy

Tepelná ztráta střešního pláště a podlahy: $Q_1 = 48 500 \text{ W}$.
 Celková délka panelů: $L = n \times L_1 = 4 \times 57 \text{ m} = 228 \text{ m}$; n = počet sálavých pásů.

$$\text{Požadovaný výkon na 1 bm panelů: } q_0 = \frac{Q_1}{L} = \frac{48 500}{228} = 212,7 \text{ W/m.}$$

Těto hodnotě vyhovuje sálavý panel šířky 300 mm (tab. 2) a $\Delta t = 62 \text{ K}$;
 $q_1 = 218 \text{ W/m}$.

Osazený výkon: $Q_1^i = n \cdot L_1 \cdot q_1 = 4 \times 57 \times 218 = 49 704 \text{ W}$.

Nepříznivý vliv čelní stěny včetně vrat nahradí doplňkové panely v čele. Při výš-
 ce zavěšení panelů $h = 5,5 \text{ m}$ se doporučuje zvolit délku rozšíření panelů o 12
 m (2 panely délky 6 m).

Tepelná ztráta čela lodi činí $Q_3 = 9 750 \text{ W}$.

Tepelná ztráta střešního prostoru + podlahy koncové části střední lodi $l =$
 (1,5 m + 12 m) = 13,5 m.

Požadovaný výkon (střešní plášť) na 1 m délky haly

$$q_1 = \frac{Q_1}{l} = \frac{48 500}{60} = 808 \text{ W/m,}$$

$$Q_1^k = (1,5 + 12) \times Q_1^i = 13,5 \times 808 = 10 908 \text{ W.}$$

(pozn.: $l_1 = 1,5 \text{ m}$ je část konce haly bez panelů,
 $l_2 = 12 \text{ m}$ – zvolená délka, rozšíření pásu).

Koncové rozšířené panely musí dodat

$$Q_k = Q_3 + Q_1^k = 9 750 \text{ W} + 10 908 \text{ W} = 20 658 \text{ W.}$$

$$\text{Jednotkový potřebný výkon } q_0^k = \frac{Q_k}{L_k} = \frac{20 658}{12 \times 4} = 430 \text{ W/m.}$$

Tomuto požadavku odpovídá panel šířky $\delta = 600 \text{ mm}$; $q_1^k = 399 \text{ W}$.

$$\text{Osazeno } Q_k^i = L_k \times q_1^k = (12 \times 4) \times 399 = 19 152 \text{ W.}$$

Celkový požadovaný výkon pro střední loď

$$Q_{\text{stř.}} = Q_1 + Q_3 = 48 500 + 9 750 = 58 250 \text{ W.}$$

Osazeno

$$Q_1 = Q_1^i + Q_k^i = (57 - 12) 4 \times 218 + (12 \times 4) \times 399 = 39 240 + 19 152 = 58 392 \text{ W.}$$

Vyhovuje.

2.12 Hydraulické řešení

Aby bylo dosaženo minimálních nákladů na připojovací potrubní rozvody, vyu-
 žijí se výhody stavebnicového řešení sálavé soustavy. Pro střední výrobní loď
 je možné navrhnout jedno sálavé otopné těleso.

Při výpočtu byly navrženy čtyři pásy. Jejich vzájemné propojení se volí tak, aby
 v příčném řezu bylo dosaženo stejné střední teploty teplonosné látky, a tím při-
 bližně stejného výkonu po celé délce haly. Rovněž tak je potřebné s ohledem
 na situování této (vnitřní) vytápěné plochy, aby i průměrné teploty v každé pod-
 élné polovině haly byly stejné. Volí se proto zapojení pásů za sebou v pořadí
 $A_2 - D_2 - C_2 - B_2$ (obr. 2).

Hydraulické ztráty

Panely šířky 300 mm

Celková délka 45 m x 4 = 180 m

$$\text{Průtok teplonosné látky } M = \frac{Q_1}{c \cdot \Delta t_m} = \frac{58 392}{4186 \cdot 40} = 0,3487 \text{ kg/s (1255 kg/h)}$$

(dvoutrubkový panel).

Tab. 2 Tepelné výkony panelů při teplotě látky „syťá pára“

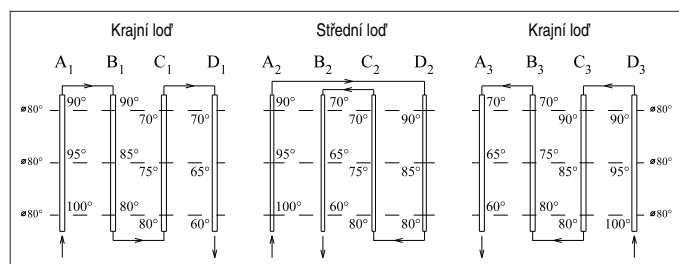
p	t_p	Šířka panelu [mm]						
		300	450	600	750	900	1 050	1 200
MPa	[°C]	[W/m]						
0,05	111	245	346	442	541	637	731	816
0,10	120	283	400	511	625	735	844	942
0,15	127	307	434	554	678	798	917	1 023
0,20	133	356	503	643	737	927	1 064	1 187
0,30	143	406	575	734	899	1 058	1 215	1 355
0,40	152	457	647	827	1 013	1 192	1 368	1 527
0,50	159	483	684	874	1 070	1 259	1 446	1 614

p – přetlak syťé páry [MPa]

Tepelný výkon je pro t_i ve vnitřním prostoru 20 °C. Korekční součinitel f_3 pro jiné teploty t_i .

$$Q_{kor} = \frac{Q_p}{f_3} [W]$$

t_i [°C]	24	22	20	18	16	14	12	10
f_3 [-]	1,03	1,01	1,0	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94



Obr. 2 Zapojení sálavých pásů v krajních a střední lodi

$$\text{Průtok jednou trubkou } M_1 = \frac{Q_1}{c \cdot \Delta t_m \cdot 2} = \frac{58\,392}{4186 \cdot 40 \cdot 2} = 0,174 \text{ kg/s (627 kg/h)}$$

z tab. 3 – hydraulické údaje trubky 28/1,5. Použijí se hodnoty pro $M = 630$ kg/h.

Tlaková ztráta dvoumodulových pásů

$$L_2 = (57-12) \cdot 4 = 180 \text{ m}$$

$$R_2 = 180 \times 74 = 13\,320 \text{ Pa}$$

$$\xi_2 = 8; \Sigma Z = 8 \times 65 = 520 \text{ Pa}$$

$$\underline{\underline{13\,840 \text{ Pa}}}$$

Panely šířky 600 mm

Celková délka $12 \times 4 = 48$ m

$$\text{Množství otopné tekutiny } M = \frac{Q_1}{t_m} = \frac{58\,392 \times 0,3487 \text{ kg/s}}{40} = (1\,255 \text{ kg/h}) \text{ (čtyř-} \\ \text{modulový panel).}$$

$$\text{Množství media jednou trubkou } M_2 = \frac{0,3487}{4} = 0,0872 \text{ kg/s (314 kg/h) z tab. 3:}$$

$$M = 320 \text{ kg/h; } R_4 = 22 \text{ Pa/m; } Z_4 = 17 \text{ Pa; } W = 0,19 \text{ m/s}$$

Tlaková ztráta čtyřmodulových panelů

$$L_4 = 12 \times 4 = 48 \text{ m}$$

$$R_4 = L_4 \times R_4 = 48 \times 22 = 1\,056 \text{ Pa}$$

$$Z_4 = \xi_4 \times Z_1 = 8 \times 17 = 136 \text{ Pa}$$

$$\underline{\underline{1\,192 \text{ Pa}}}$$

Celková tlaková ztráta sálavých panelů

$$\text{Dvoumodulové } R_2 = 13\,840 \text{ Pa}$$

$$\text{Čtyřmodulové } R_4 = 1\,192 \text{ Pa}$$

$$\underline{\underline{15\,032 \text{ Pa}}}$$

Připojovací a propojovací porubí

Celková délka připojovacího potrubí od regulovatelného ejektorového bloku (+ 1,5 m nad podlahou) k sálavým panelům $l_1 = 15$ m.

Propojovací potrubí mezi pásy u čela objektu $l_2 = 24$ m.

Průtok $M = 0,3487$ kg/s ($\cdot 3\,600 = 1\,255$ kg/h), volí se trubka G 5/4.

$M = 1\,250$ kg/h; $R = 49$ Pa/m; $W = 0,36$ m/s.

Tlaková ztráta třením: $R_p = (15 + 24) \times 49,0 = 1\,911$ Pa.

Místní odpory (potrubí včetně dvou kulových uzávěrů nad ejektorem) $\xi = 20$; $Z_1 = 63,0$.

Tlaková ztráta místními odpory $\Sigma Z_p = 20 \times 63 = 1\,260$ Pa

CELKOVÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA

Panely dvoumodulové $R_2 + Z_2 = 13\,840$ Pa

Panely čtyřmodulové $R_4 + Z_4 = 1\,192$ Pa

Připojovací a propojovací potrubí $R_p = 1\,911$ Pa

Připojovací a propojovací potrubí $Z_p = 1\,260$ Pa

Celková ztráta soustavy 18 203 Pa.

Výsledné hodnoty střední lodi $Q_i = 61\,956$ W; $M = 0,37$ kg/s = 1 332 kg/h; $\Delta p = 20\,329$ Pa; $\Delta t = 100/60$ °C.

2.20 Krajní lodi

2.21 Výpočet otopné plochy

Tepelná ztráta střešního pláště a podlahy $Q_1 = 48\,500$ W

Tepelná ztráta obvodového pláště včetně

oken a infiltrace $Q_2 = 25\,100$ W

Celkem $Q = 73\,600$ W.

Celková délka sálavých pásů 4×57 m = 228 m.

$$\text{Požadovaný výkon na 1 bm panelů } q_0 = \frac{Q}{\Sigma L} = \frac{73\,600}{228} = 322,8 \text{ W/m.}$$

Volí se dle tab. 1 šířka panelu $\xi = 450$ mm; $\Delta t = 62$ K; $q_i = 346$ W/m.

Osazený výkon $Q_i = \Sigma L \times q_i = 228 \times 346 = 78\,888$ W.

Tepelná ztráta čela haly $Q_3 = 9\,750$ W.

Tepelná ztráta střešního pláště a podlahy koncové části krajní lodi ($l = 13,5$ m).

Tepelná ztráta koncové části obvodového pláště $Q_1^k = 10\,908,0$ W,
 $Q_2^k = 5\,647,5$ W.

Celková tepelná ztráta krajní lodi – část čelní ($l = 13,5$ m) pro krytí rozšířeními panely délky 12 m:

Čelo haly $Q_3 = 9\,750$ W

Střešní plášť + podlaha $Q_1^k = 10\,908$ W

Obvodový plášť $Q_2^k = 5\,647$ W

$Q^k = 26\,305$ W.

Požadovaný jednotkový výkon

$$q_0 = \frac{Q_k}{\Sigma L} = \frac{26\,205}{48} = 548 \text{ n/m.}$$

Dle tab. 1 se volí panel šířky 750 mm (5 modulů) $q_i = 541$ W/m.

Instalovaný výkon $Q_i^k = \Sigma L \times q_i = 48 \times 541 = 25\,968$ W.

Rozdíl je zanedbatelný – vyhovuje.

Tab. 3 Hydraulické tabulky (teplonosná látka voda)

28 x 2,6									$\epsilon = 0,045 \text{ mm}$	28 x 1,5								
80 °C			100 °C			125 °C			t_m	80 °C			100 °C			125 °C		
R	Z	w	R	Z	w	R	Z	w	M	R	Z	w	R	Z	w	R	Z	w
[Pa/m]	[Pa]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	[m/s]	[kg/h]	[Pa/m]	[Pa]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	[m/s]
23	11	0,15	23	16	0,18	17	17	0,19	260	15	11	0,15	14	11	0,15	14	12	0,16
27	13	0,16	26	19	0,20	20	19	0,20	280	17	13	0,16	16	13	0,17	16	13	0,17
30	15	0,17	29	22	0,21	23	22	0,22	300	19	15	0,17	19	15	0,18	18	15	0,18
34	17	0,19	33	25	0,23	26	25	0,23	320	22	17	0,19	21	17	0,19	21	17	0,19
38	19	0,20	37	28	0,24	29	28	0,25	340	24	19	0,20	23	19	0,20	23	20	0,20
42	21	0,21	41	31	0,26	33	32	0,26	360	27	21	0,21	26	22	0,21	25	22	0,22
46	24	0,22	45	35	0,27	37	36	0,28	380	29	24	0,22	29	24	0,22	28	25	0,23
51	26	0,23	50	39	0,28	41	39	0,29	400	32	26	0,23	31	27	0,24	31	27	0,24
56	29	0,24	54	43	0,30	45	43	0,30	420	35	29	0,24	34	29	0,25	34	30	0,25
61	32	0,26	59	47	0,31	49	48	0,32	440	38	32	0,26	37	32	0,26	37	33	0,27
66	35	0,27	64	51	0,33	54	52	0,33	460	42	35	0,27	41	35	0,27	40	36	0,28
71	38	0,28	70	56	0,34	59	57	0,35	480	45	38	0,28	44	38	0,28	43	39	0,29
77	41	0,29	75	60	0,35	64	62	0,36	500	49	41	0,29	47	42	0,30	47	43	0,30
85	46	0,31	84	68	0,38	72	69	0,38	530	54	46	0,31	53	47	0,31	52	48	0,32
94	52	0,33	93	76	0,40	80	77	0,41	560	60	52	0,33	58	52	0,33	58	53	0,34
107	59	0,35	106	87	0,43	92	89	0,43	600	68	59	0,35	67	60	0,35	66	61	0,36
118	65	0,37	116	96	0,45	101	98	0,46	630	74	65	0,37	73	66	0,37	72	68	0,38
132	74	0,39	130	108	0,48	114	111	0,49	670	83	74	0,39	82	75	0,40	81	77	0,40
147	83	0,41	145	122	0,50	129	124	0,51	710	93	83	0,41	91	84	0,42	91	86	0,43
163	93	0,44	161	136	0,53	143	139	0,54	750	103	93	0,44	101	93	0,44	100	96	0,45
184	105	0,47	182	155	0,57	163	158	0,58	800	116	105	0,47	114	107	0,47	114	109	0,48
206	119	0,49	204	174	0,60	184	178	0,62	850	130	119	0,49	128	121	0,50	127	123	0,51
229	133	0,52	227	196	0,64	207	200	0,65	900	144	133	0,52	142	135	0,53	142	138	0,54
254	149	0,55	252	218	0,67	230	222	0,69	950	160	149	0,55	158	151	0,56	158	154	0,57
280	165	0,58	278	241	0,71	255	246	0,72	1 000	176	165	0,58	174	167	0,59	174	170	0,60
307	182	0,61	305	266	0,75	281	272	0,76	1 050	193	182	0,61	191	184	0,62	191	188	0,63
336	199	0,64	333	292	0,78	309	298	0,80	1 100	211	199	0,64	209	202	0,65	209	206	0,66
365	218	0,67	363	319	0,82	337	326	0,83	1 150	229	218	0,67	227	221	0,68	227	225	0,69
396	237	0,70	394	348	0,85	367	355	0,87	1 200	248	237	0,70	246	241	0,71	247	245	0,72
428	257	0,73	426	377	0,89	398	385	0,91	1 250	268	257	0,73	266	261	0,74	267	266	0,75
462	278	0,76	459	408	0,92	431	416	0,94	1 300	289	278	0,76	287	282	0,77	288	288	0,78
532	323	0,82	530	473	0,99	500	483	1,01	1 400	333	323	0,82	331	327	0,83	332	334	0,84
607	371	0,87	606	543	1,06	574	554	1,09	1 500	380	371	0,87	378	376	0,89	380	384	0,90
687	422	0,93	686	618	1,14	653	631	1,16	1 600	430	422	0,93	430	422	0,93	430	436	0,96

Celkový osazený výkon krajní lodě $Q_c = (57-12) 4 \times 346 + 48 \times 541 = 62 280 + 25 968 = 88 248 \text{ W}$.

2.22 Hydraulické řešení

Pro krajní loď je možné navrhout stejně tak jako pro loď střední jedno otopné těleso, sestávající ze čtyř pásů. Jejich zapojení však s ohledem na nepříznivý vliv obvodového pláště (tepelná ztráta + infiltrace) bude odlišné.

Jednotlivé pásy zapojené za sebou budou krýt zvýšené nároky na dodávku tepla u obvodu haly vyšší teplotou media.

Zapojení v pořadí $A_1 - B_1 - C_1 - D_1$ resp. $D_3 - C_3 - B_3 - A_3$, (viz. obr. 2). Stejným způsobem jako ve střední lodi se určí hydraulické ztráty i pro loď krajní. Detailní propočet není uváděn.

Výsledné hodnoty

$Q_c = 88 248 \text{ W}$; $M = 0,5269 \text{ kg/s} = 1 897 \text{ kg/h}$; $\Delta p = 19 215 \text{ Pa}$; $\Delta t = 100/60 \text{ °C}$.

Připojovací a propojovací potrubí G 6/4".

Sestavení: objekt	Q [W]	M [kg/h]	Δp [Pa]	Δt [°C/°C]
Levá krajní loď	88 248	1 897	19 215	
Střední loď	61 956	1 332	18 203	
Prává krajní loď	88 248	1 897	19 215	
Celkem	238 452	5 126	-	105/100/60

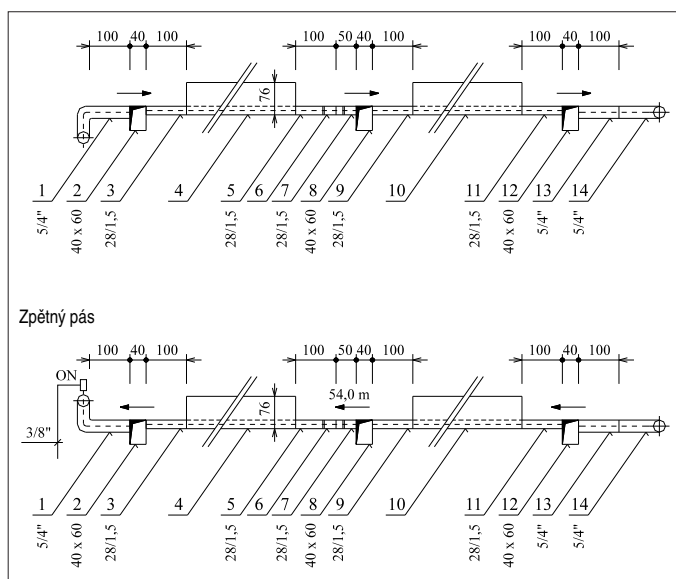
3.00 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ SOUSTAVY

V souladu s požadavkem na minimální obsluhu a údržbu otopné soustavy jsou všechny prvky s možnou poruchovostí umístěny tak, aby k nim byl co nejlepší přístup. Základním požadavkem je úplně odstranit možnost zavzdušňování částí soustavy umístěných pod stropem vytápěného objektu. Na obr. 3 je uveden podélný řez a napojení sálavých pásů.

Z přívodního potrubí (1) – nejlépe umístěného pod úrovní roviny sálavých pásů (montují se bez spádu) se vede otopná voda do horní části příčného čtverhranného registru (2). Stejně tak jsou navařeny trubky (3) sálavého panelu (4). Spojování panelů se provádí pomocí fitinků (6) lisováním. Při spojování užších a širších panelů je příčný registr (8) navařen na trubky (9) širšího panelu. Spojení se provádí na staveništi na straně užších panelů (6 + 7 + 8). Konec širších panelů (10) je řešen obdobně jako vstup – na registr (12) se jak trubky panelu (11), tak nátrubek propojovacího potrubí (13) navařují v horní části registru. Pro propojení přívodního a zpětného pásu potrubím (14) se celý zpětný pás řeší stejným způsobem – všechna spojení v horní části, aby nedocházelo k zavzdušnění. Při výstupu teplonosné látky z pásu je nevhodnější, aby zpětné potrubí vedené k ejektorovému bloku (obr. 4) bylo umístěno nad úrovní panelů (obr. 3).

Nejvyšší bod soustavy pak bude nad tímto blokem a obslužná armatura od vzdušnění svedena nad podlahu – místo přístupné obsluze.

Veškerá armatura potřebná k obsluze bude tak v jednom místě. Jediná činnost obsluhy je pak cca jedenkrát za tři měsíce zkontrolovat a zjistit funkčnost



Obr. 3 Řez přívodního a zpětného pásu sálavého panelu

ovládacích armatur (několikrát uzavřít a znovu otevřít, aby nedošlo k jejich zařustání) a překontrolovat pohon ejektoru a regulátor.

Použití automatických odvzdušňovačů s ohledem na výšku instalace je problematické. Z hlediska obsluhy je vhodnější odvzdušňovací nádobka na nejvyšším místě zpětného potrubí a uzavírací armatura s ručním ovládním u podlahy.

4.00 REGULACE SOUSTAVY

Celá soustava byla rozdělena na tři samostatně regulovatelné sekce. Toto dělení vyplynulo z vnějších podmínek. Každá výrobní loď bude regulovaná podle vnitřní teploty (t_g) s přihlédnutím k teplotě zevnější (t_e).

Jako regulační orgán byl zvolen regulovatelný ejektor v kombinaci s regulátorem s optimalizačním programem, který umožňuje v předstihu regulovat teplotu teplosné látky, přičemž bere v úvahu vliv akumulace stavby, pružnost otopné soustavy a i vliv vnitřních zdrojů tepla.

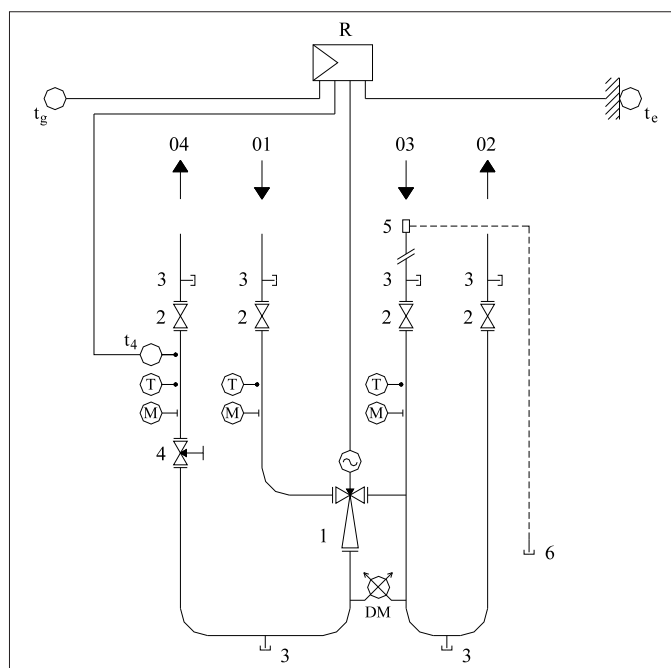
Schéma ejektorového bloku je se všemi potřebnými armaturami a přístroji uvedeno na obr. 4. Čidla pro snímání výsledné teploty t_g jsou vyznačena na obr. 1 (R_1, R_2, R_3). Venkovní teplota se snímá na zastíněné straně objektu. Při použití ejektoru jako regulačního orgánu je zapotřebí zohlednit způsob regulace. Ejektor využívá primární energii pro „proudění“ teplosné látky v sekundárním okruhu. Proto je nutné, aby bylo co největší množství vody přiváděno z primárního do sekundárního potrubí. Vzniká tím minimální požadavek na diferenční tlak v primární síti, a tím menší nároky na čerpací práci oběhových čerpadel ve zdroji tepla.

Příklady:

Střední loď

1. $Q = 58\,250\text{ W}$; $M_2 = 0,3487\text{ kg/s} = 1\,252\text{ kg}$. Výpočtové teploty $t = 105/100/60\text{ }^\circ\text{C}$. Tlaková ztráta sekundárního okruhu $\Delta p_2 = 18\,203\text{ Pa}$. Minimální požadovaný diferenční tlak primární přípojky $\Delta p_1 = 35\,000\text{ Pa}$ – viz výpočet ejektoru – topenářská příručka [3].

$$\text{Směšovací poměr: } u = \frac{t_1 - t_4}{t_4 - t_2} = \frac{105 - 100}{100 - 60} = \frac{5}{40} = 0,125; \quad \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{35\,000}{18\,203} = 1,922.$$



Obr. 4 Regulovatelný ejektor

2. $Q = 58\,250\text{ W}$; $M_2 = 0,3487\text{ kg/s} = 1\,252\text{ kg}$. Výpočtové teploty $110/100/60\text{ }^\circ\text{C}$. Tlaková ztráta sekundáru $\Delta p_2 = 18\,203\text{ Pa}$. Minimální požadovaný diferenční tlak primáru $\Delta p_1 = 42\,000\text{ Pa}$ – viz výpočet ejektoru [3].

$$\text{Směšovací poměr: } u = \frac{110 - 100}{100 - 60} = \frac{10}{40} = 0,25; \quad \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{42\,000}{18\,203} = 2,307$$

3. $Q = 58\,250\text{ W}$; $M_2 = 0,3487\text{ kg/s} = 1\,252\text{ kg}$. Výpočtové teploty $130/100/60\text{ }^\circ\text{C}$. Tlaková ztráta sekundáru (h) $= \Delta p_2 = 18\,203\text{ Pa}$ Minimální požadovaný diferenční tlak primáru (H) $= \Delta p_1 = 75\,000\text{ Pa}$ – viz výpočet ejektoru [3].

$$\text{Směšovací poměr: } u = \frac{130 - 100}{100 - 60} = \frac{30}{40} = 0,75; \quad \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = 4,122$$

Tento přehled ukazuje, jak je nutné dobře zvážit směšovací poměr, aby byla v maximální míře využita energie vložená do hydraulických podmínek primárního rozvodu. Zvýšením střední teploty panelů se zmenšuje sálavá otopná plocha a pořizovací náklady.

ZÁVĚR

Příklad řešení ukazuje cestu jak postupovat při navrhování sálavých panelů, aby bylo dosaženo hlavních cílů návrhu:

- Minimální pořizovací náklady = minimální délky připojovacích potrubí ; sálavá plocha
- plní rovněž funkci rozvodů.
- Rovnoměrné vytápění po celé ploše objektu.
- Minimální nároky na obsluhu, údržbu a provoz zařízení.

Závěrem lze konstatovat, že vytápění sálavými panely patří k nejhospodárnějším soustavám v průmyslových a jiných velkoprostorových objektech.

Spojení na autora: www.kotrбаты.cz, kotrбаты@kotrбаты.cz.

Literatura:

- [1] CIHELKA, J., KOTRBATÝ, M.: *Sálavé vytápění*. Matice hornicko – hutnická, Praha 1957
- [2] KOTRBATÝ, M.: *Sálavé vytápění – sálavé panely, infrazářiče*. STP, Praha 1993.
- [3] Kolektiv autorů: *Topenářská příručka*. Vydal GAS s.r.o., Praha 2001. ISBN 80-86176-81-9.