

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**MINIMÁLNÍ VÝŠKA ZAVĚŠENÍ SÁLAVÝCH
OTOPNÝCH SOUSTAV A PLYNOVÝCH TOPIDEL**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tittel** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **420522**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Minimální výška zavěšení sálavých otopných soustav a plynových topidel

Název bakalářské práce anglicky:

Minimum Suspension Height of Radiant Heating Systems and Local Radiant Heaters

Pokyny pro vypracování:

Minimální výška zavěšení je z hygienického pohledu jedním z nejdůležitějších parametrů, které přímo ovlivňují tepelnou pohodu, resp. lokální tepelnou nepohodu. Zpracujte rešerši trhu a dostupné literatury zabývající se sálavými otopnými soustavami a lokálními topidly se zaměřením na minimální výšky zavěšení. Sepište jak samotné hodnoty minimálních výšek, tak případně i metody, které výrobci a dodavatelé ke stanovení tohoto parametru používají. S použitím základních fyzikálních principů navrhněte vlastní postup pro stanovení tohoto parametru na základě povrchové teploty a velikosti dané otopné plochy. Získané výsledky podrobte diskusi.

Seznam doporučené literatury:

1) Hottel, H.C., Sarofim, A.F. Přenos tepla zářením. SNTL, Praha, 1979. ISBN 80-04-217-79

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

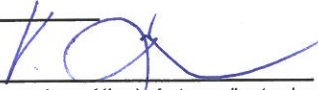
Ing. Ondřej Hojer Ph.D., ústav techniky prostředí FS

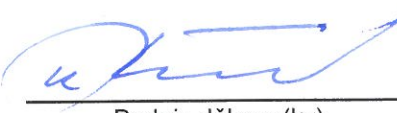
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **30.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:


Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

20. 4. 2017
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Jan Tittel
Název BP:	Minimální výška zavěšení sálavých otopných soustav a plynových topidel
Název anglicky:	Minimum Suspension Height of Radiant Heating Systems and Local Radiant Heaters
Rok:	2017
Studijní obor:	Technika životního prostředí
Ústav:	Ústav techniky prostředí
Vedoucí:	Ing. Ondřej Hojer Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran: 45 počet obrázků: 19 počet tabulek: 16
Klíčová slova:	Sálavý panel, Světlý plynový zářič, Tmavý plynový zářič, Elektrický zářič, minimální výška zavěšení
Keywords:	Radian strip, Plaque radiant heater, Tube radiant heater, Electrical heater, Minimum Suspension Height

Anotace:

Tato práce se zabývá zpracováním rešerše trhu sálavých otopných soustav a plynových topidel. Cílem práce je teoretický popis jednotlivých soustav a jejich provozu. Dále s použitím fyzikálních principů návrh vlastního postupu stanovení minimální výšky zavěšení s ohledem na intenzitu osálení temene hlavy. Získané hodnoty jsou porovnány s minimálními výškami zavěšení, které jsou doporučeny výrobci. Porovnání těchto výsledků je komentováno v závěru.

Abstract:

The main purpose of this bachelor's thesis is to analyse a the market of radiant heating systems and local radiant heaters. Goal of the analysis is to describe particular systems and their functionality. Futhermore to create a new own method utilizing physical principles for definiton of hanging hight with respect to intensity of radiation top of the head. Obtained values are compared with minimum values of hanging hight recommended by producers. As conclusion the comparison of results is commented.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: Minimální výška zavěšení sálavých otopných soustav a plynových topidel vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Hojera Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne _____

Jan Tittel

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu, Ing. Hojerovi, za poskytnuté materiály, rady a připomínky k vypracování bakalářské práce.

Obsah

1	TEORETICKÝ ÚVOD.....	8
1.1	Tepelná pohoda	8
1.2	Přenos tepla zářením	10
1.3	Popis zařízení	10
1.3.1	Sálavé panely	10
1.3.2	Světlé plynové zářiče	17
1.3.3	Tmavé plynové zářiče vysokoteplotní	20
1.3.4	Tmavé plynové zářiče nízkoteplotní.....	21
1.3.5	Elektrické zářiče	23
2	STAV PROBLEMATIKY	26
2.1	Legislativa	26
2.1.1	Bezpečné vzdálenosti ve směru sálání.....	26
2.1.2	Minimální vzdálenost od osob.....	27
2.2	Stav na trhu	28
2.2.1	Sálavé panely	28
2.2.2	Světlé plynové zářiče	29
2.2.3	Tmavé plynové zářiče vysokoteplotní	30
2.2.4	Tmavé plynové zářiče nízkoteplotní.....	30
2.2.5	Elektrické zářiče	30
3	TEORETICKÁ ANALÝZA	31
4	ZÁVĚR	38
5	Seznam použité literatury	40
6	Seznam norem.....	44
7	Seznam tabulek	44
8	Seznam obrázků.....	45

Seznam zkratek a symbolů

Značka	Jednotka	Název
A	$[m^2]$	plocha
B	$[m]$	šířka haly
I	$[W/m^2]$	intenzita sálání
N	$[W]$	tepelný výkon vykonaný tělem
Q_d	$[W]$	tepelný výkon odvedený vedením tepla
Q_k	$[W]$	tepelný výkon odvedený prouděním
Q_m	$[W]$	celkové tělesné metabolické teplo
Q_s	$[W]$	tepelný výkon odvedený sáláním
Q_{S1-2}	$[W]$	vyzářený výkon
Q_v	$[W]$	tepelný výkon odvedený vypařováním
Q_{vz}	$[W]$	tepelný výkon odvedený vydechovaným vzduchem
S_o	$[-]$	poměr zakrytí podlahové plochy
S_p	$[m^2]$	plocha sálavých panelů
S_1	$[m^2]$	plocha podlahy
T	$[K]$	termodynamická teplota
h	$[m]$	výška zavěšení panelů
q	$[W]$	produkovaný tepelný tok
q_s	$[W]$	sálavá tepelná zátěž
q_k	$[W]$	konvekční tepelná zátěž
t_m	$[^{\circ}C]$	střední teplota teplonosné látky
t_{mrt}	$[^{\circ}C]$	střední radiační teplota
x	$[m]$	pozice umístění sálající plochy
y	$[m]$	pozice umístění sálající plochy
z	$[m]$	výška zavěšení
η	$[m]$	pozice umístění osálané plochy
ξ	$[m]$	pozice umístění osálané plochy
σ	$[W/m^2K^4]$	Stefan-Boltzmanova konstanta
ε	$[-]$	emisivita
φ	$[\%]$	poměr osálení

1 TEORETICKÝ ÚVOD

1.1 Tepelná pohoda

Lidské tělo se z pohledu tepelné techniky chová jako generátor a výměník tepla. Z lidského těla se uvolňuje tepelná energie, která je závislá na intenzitě fyzické činnosti, hmotnosti těla, tepelné vodivosti oděvu a stavu obklopujícího prostředí. Vnitřní teplota lidského těla musí zůstat přibližně stálá, proto musí být vzniklé teplo odváděno do okolí. Pro dobrý psychický stav člověka je důležité, aby bylo dosaženo rovnováhy mezi produkovaným a odváděným teplem. Tento stav tepelné rovnováhy je nutný pro dosažení pocitu tepelné pohody [1].

$$Q_m - N = Q_d + Q_k + Q_s + Q_v + Q_{vz} [\text{W}] \quad (1.1)$$

Q_m	[W]...celkové tělesné metabolické teplo
Q_d	[W]...tepelný výkon odvedený vedením tepla
Q_k	[W]...tepelný výkon odvedený prouděním
Q_s	[W]...tepelný výkon odvedený sáláním
Q_v	[W]...tepelný výkon odvedený vypařováním
Q_{vz}	[W]...tepelný výkon odvedený vydechaným vzduchem
N	[W]...mechanická práce vykonaná tělem

Tabulka 1 - Průměrná produkce tepla dospělého člověka o hmotnosti 75 kg [1]

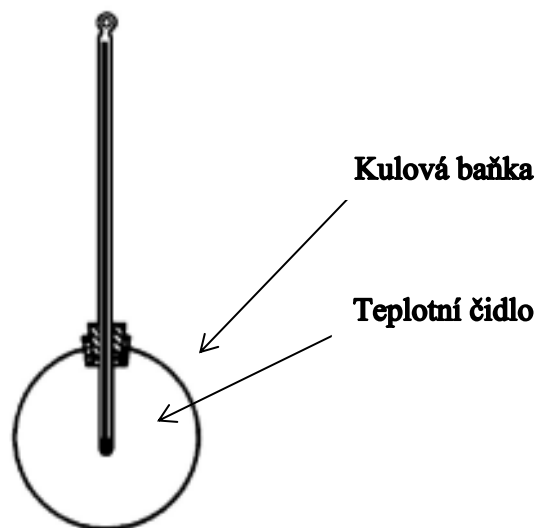
činnost	produkce tepla Q_m [W]
spánek	87
chůze po rovině rychlostí 3 km/h	210
klus rychlostí 8,5 až 9,0 km/h	725
velmi lehká fyzická práce (švadleny, projektanti, atd.)	145
lehká fyzická práce (nástrojaři, mechanici, atd.)	190
středně těžká práce (kováři, slévači, atd.)	250
těžká práce (tesaři, nošení břemen do 75 kg)	312
velmi těžká práce (dřevorubci, nošení břemen o hmotnosti 80 kg)	více než 335

Tepelná pohoda je subjektivní pocit, u kterého je zachována tepelná rovnováha při optimálních hodnotách fyziologických parametrů.

Tepelná rovnováha těla a okolí je stav, u kterého se zachovává rovnost produkovaného tepelného toku q a toku tepla odímaného okolím. U horkých provozů může sáláním přecházet tepelný tok z prostředí do těla. V tomto případě se k tepelnému toku připočítává sálavá tepelná zátěž q_s . Konečný tok tepla se z těla odvádí vedením, konvekcí, dýcháním a vypařováním. V extrémních podmínkách se také může k toku tepla q přičíst konvekční tepelná zátěž q_k [2].

Střední radiační teplota t_{mrt} je rovnoměrná teplota všech ploch v daném prostoru, při které by byl přenos tepla sáláním z těla stejný jako ve skutečnosti [2].

Výsledný tepelný účinek v určitém místě lze posuzovat podle tzv. výsledné teploty t_g . Výsledná teplota se měří kulovým teploměrem ve výšce 1,7 m u stojícího a 1,1 m u sedícího člověka nad podlahou. Ustálení teploty trvá 15 až 20 minut kvůli malým teplotním rozdílům. Kulový teploměr je tvořen kulovou baňkou z tenkého měděného plechu s matným černým povrchem. Ve středu baňky je zasunuto teplotní čidlo. Za ustáleného stavu se vyrovná teplota povrchu kulového teploměru s teplotou čidla [1].



Obrázek 1 - Kulový teploměr Vernonův [3]

Pro hodnocení tepelného stavu prostředí dle rovnice tepelné pohody potřebujeme znát teplotu vzduchu t a střední radiační teplotu t_{mrt} . Pro zjednodušení zavádíme operativní teplotu t_o , která zahrnuje vliv teploty vzduchu t i střední radiační teploty v jediné veličině [1].

1.2 Přenos tepla zářením

Rozlišují se dva druhy přenosu tepla, zářením a vedením. V některých směrech jsou podobné, ale v jiných zcela odlišné. Vedení tepla představuje přenášení energie pohybem molekul. Je to přenos, který je závislý na gradientu teplot.

Záření je přenos elektromagnetické energie formou vln s příčnou vibrací vzhledem ke směru jejich šíření. Pochází z přívodu energie nebo vybuzení částice. Typy záření jsou rozlišovány dle vlnové délky. Pokud je většina zářivého toku při dopadu na jiný objekt přeměněna na tepelný tok, hovoříme teda o tepelném záření. To platí pro záření při běžných teplotách, ale také pro záření slunce [4].

1.3 Popis zařízení

Při vytápění je hlavním požadavkem to, aby přijatelné tepelné podmínky pro práci a odpočinek byly zajištěny minimální spotřebou energie a paliv při provozu otopných zařízení. Při požadované výsledné teplotě 18,5 až 21,5 °C je zřejmé, že v zimním období, kdy teploty venkovního vzduchu klesají hluboko pod bod mrazu, je nutné vytápět vnitřní prostor a zajistit tak tepelnou pohodu osob zde pobývajících.

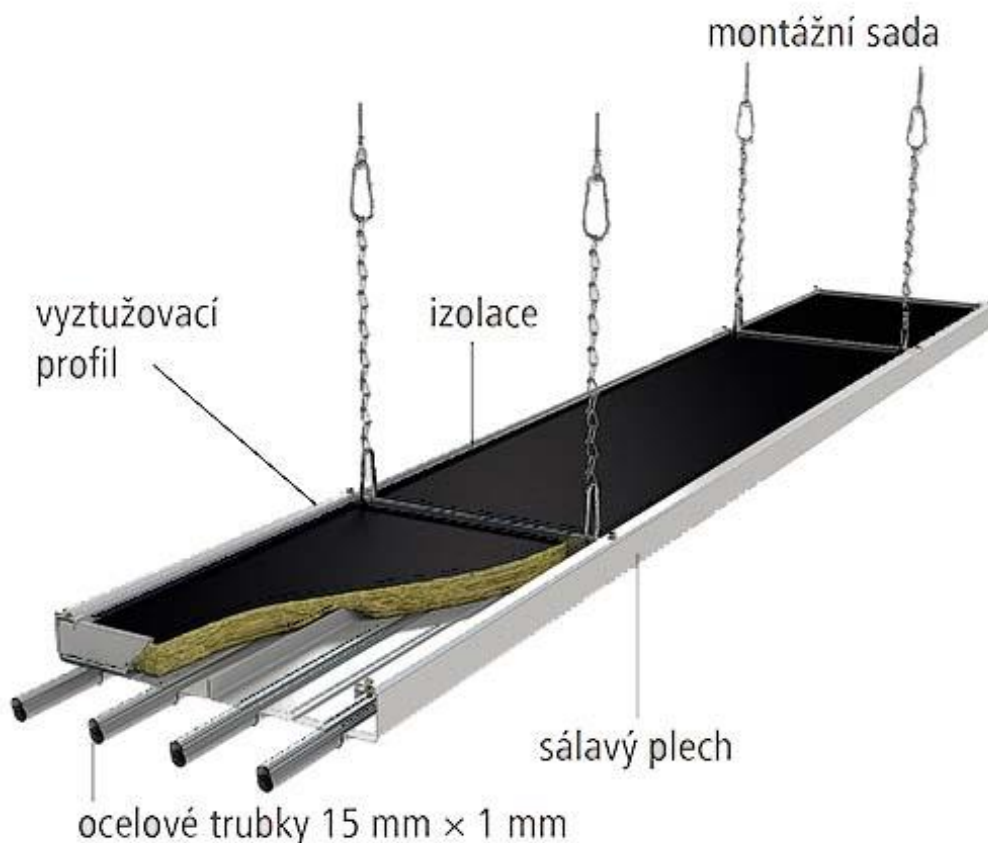
V současné době se pro vytápění velkoprostorových objektů používají plynové infračervené zářiče, nebo závěsné sálavé panely. Tyto druhy vytápění patří mezi nejehospodárnější otopné soustavy velkoprostorových objektů [1, 5].

1.3.1 Sálavé panely

Princip předávání tepla u stropních sálavých panelů je obdobný jako předávání tepla ze Slunce na Zem. Tyto panely se využívají pro vytápění rozlehlých průmyslových hal, sportovních hal a velkoobchodů potravin. Otopnou látkou je především teplá nebo horká voda, výjimečně i pára. Při tomto druhu vytápění nedochází k víření vzduchu a prachových částic. Proto je velice vhodné do prašného prostředí. Je třeba pouze zohlednit pohlcení části energie na prachových částicích. Mezi další hlavní výhody patří bezhlučný provoz.

Díky povrchové a vzhledové variabilitě je lze použít i pro vytápění náročnějších interiérů jako např. vstupní haly, galerie a reprezentační prostory. V letních měsících je možné je využít také pro chlazení. V tomto případě je nutné instalovat zdroj chladu. Použití sálavých panelů je vhodné pro objekty se světlou výškou od 3 do 30 m. Při klasických aplikacích zabírají rozlohu přibližně 10 až 20 % volné plochy stropu.

Hlavním rozměrem konstrukce sálavých panelů je rozteč jednotlivých otopných trubek a šířka ocelového plechu. Plech je podélně profilován a do prolisů se vkládá přesná ocelová trubka. Trubka je fixována k plechu kvůli jejímu zamezení změny polohy vlivem délkové roztažnosti. Sálavý panel i trubka se běžně dodávají s nanesenou bílou práškovou barvou. Ostatní barevné odstíny jsou dodávány na vyžádání. Sálavé panely se vyrábějí v různém provedení. Většinou ve dvou- až deseti-trubkovém provedení v délkách od 1 do 6 m s možným krokem po 100 až 150 mm. Kvůli zvyšování sálavé účinnosti se na horní stranu plechu přikládá tepelná izolace, která je opatřena z vrchní strany reflexní hliníkovou fólií [6].

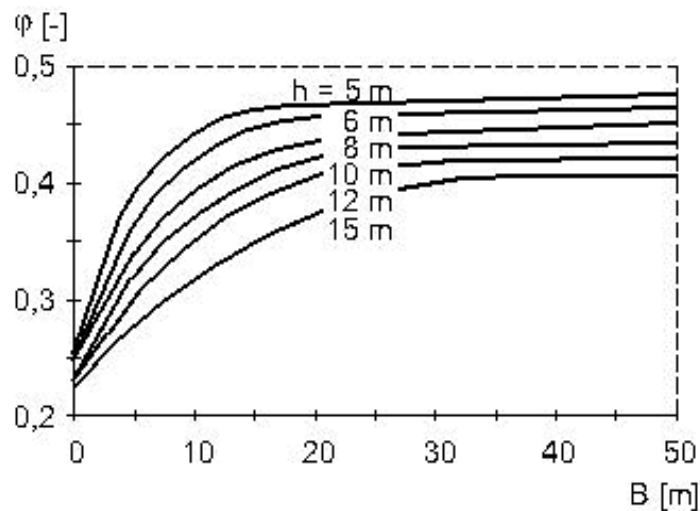


Obrázek 2 - Stropní sálavý panel [7]

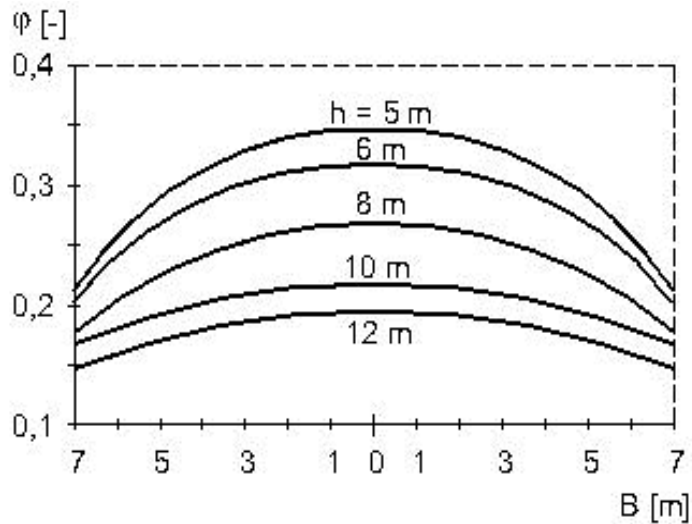
Pro připojení sálavých panelů k potrubnímu rozvodu se používají připojovací komory, které jsou na vstupním a výstupním panelu. Celkovou tlakovou ztrátu okruhu a rozložení teplot na sálavém pásu ovlivňuje zapojení jednotlivých otopných trubek. Komory je možné opatřit odvzdušňovací a vypouštěcí armaturou. [4]

Instalace stropních sálavých panelů probíhá zavěšováním do vodorovné polohy pod stropní konstrukci. Velice důležitý je materiál stropní konstrukce, do které se instalace provádí. Pro většinu případů se sada pro zavěšení přizpůsobuje daným požadavkům objektu. Sada se skládá z koncového prvku řetízku a napínače. Délka závěsu je dána výškou instalace a musí být schopna přenést silové namáhání způsobené délkovou roztažností panelů. Jednotlivé panely se spojují svařováním nebo dnes nejčastěji lisovacími fitinkami. Místo spojení jednotlivých panelů se zakrývá dolním krycím plechem [6].

Podstatný vliv na rovnoměrnost vytápění má poměr osálení jednotlivých míst ve vytápěném prostoru. Poměr osálení je odlišný uprostřed a u okrajů hal při rovnoměrném rozmístění otopné plochy a stejné teplotě panelů [8].



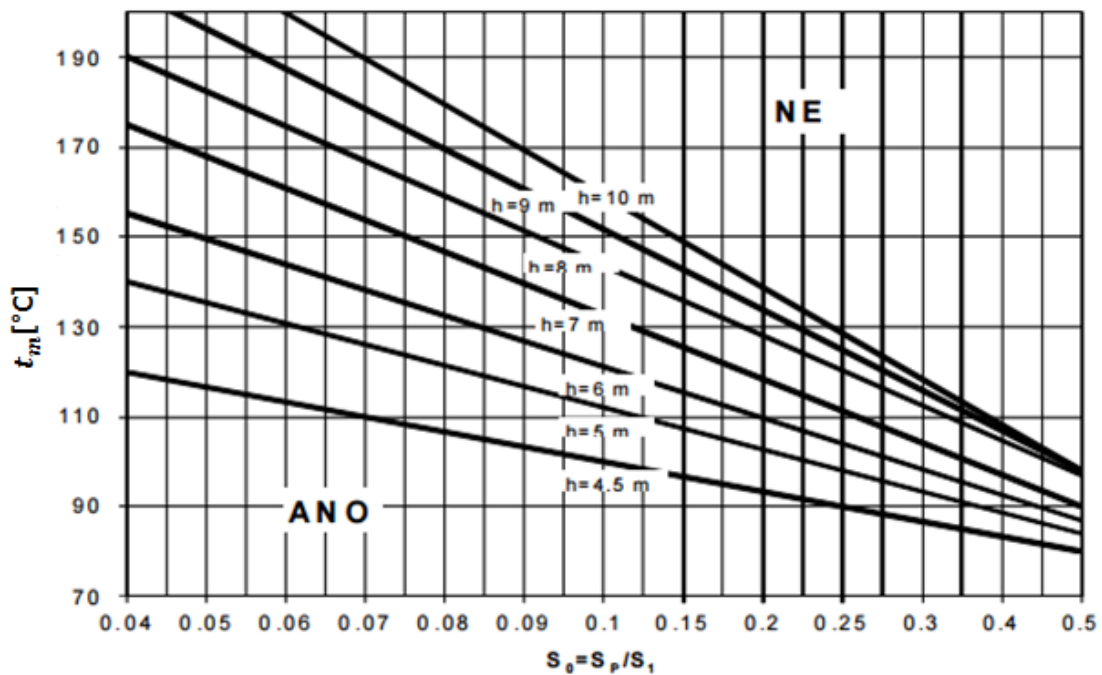
Obrázek 3 - Poměr osálení sálavých panelů-široké haly [8]



Obrázek 4 - Poměr osálení sálavých panelů-úzké haly [8]

Na kvalitu prostředí u okraje objektu má také vliv chladný obvodový plášť. Pro dosažení rovnoměrnosti vytápění po celé šířce haly se zvětšuje šířka panelů u okrajů objektu nebo se zmenšuje rozteč zavěšení [8].

Dalším důležitým parametrem je minimální výška zavěšení. Každý výrobce uvádí tuto hodnotu dle vlastního doporučení. Firma Kotrbatý doporučuje pro splnění hygienického hlediska jednotlivé výšky zavěšení dle následujícího diagramu. Je tedy potřeba předem stanovit rozměry haly a střední teplotu teplotnosné látky. Naše hodnoty odečteme pro halu o rozměrech 8 x 6 m, výšce 4 m, šířce panelu 0,9 m, délce panelu 6 m a volbě dvou panelů. Podíl plochy stropu obložené stropními sálavými panely bude 22,5 %.



Obrázek 5 - Diagram výšek zavěšení sálavých panelů firmy Kotrbatý [9]

- S_o [-] ... poměr zakrytí podlahové plochy
 S_p [m^2]... plocha sálavých panelů
 S_1 [m^2]... plocha podlahy
 t_m [$^{\circ}\text{C}$] ... střední teplota teplotonosné látky
 h [m] ... výška zavěšení panelů

Další odlišnou variantu má firma Zehnder. Doporučené výšky zavěšení mají uvedené v tabulce. Zde je také pro návrh nutné znát rozměry projektované haly a následně dopočítat podíl obložené plochy stropu sálavými panely.

Tabulka 2 - Výšky zavěšení sálavých panelů firmy Zehnder [10]

Výška	Podíl plochy stropu obložené stropními sálavými panely Zehnder ZIP					
	při 10 %	při 15 %	při 20 %	při 25 %	při 30 %	při 35 %
	střední teplota teplonosné látky [°C]					
≤3	73	71	68	64	58	56
4			91	78	67	60
5				83	71	64
6				87	75	69
7				91	80	74
8					86	80
9					92	87
10						94

Například pro halu o rozměrech 8 x 6 m, výšce 4 m, šířce panelu 0,9 m, délce panelu 6 m a volbě dvou panelů bude podíl plochy stropu obložené stropními sálavými panely 22,5 %. Volíme tedy podíl 25 % dle tabulkových hodnot. Při volbě střední teploty teplonosné látky 83 °C nám dle tabulky vychází doporučená výška zavěšení panelů 5 m.

Německý výrobce sálavých panelů Sunline udává pro volbu minimální výšky zavěšení tabulku. Zde se výška zavěšení volí dle povrchové teploty nebo teploty teplonosné látky.

Tabulka 3 - Výšky zavěšení sálavých panelů firmy Sunline [11]

Výška zavěšení [m]	Povrchová teplota [°C]	Teplota teplonosné látky [°C]
3	55	60
4	65	70
5	75	85
6	95	105
7	115	130
8	140	160

U firmy Sabiana se minimální výška zavěšení také odečítá z tabulky, kterou uvádějí v katalogu pro instalaci. Hodnoty v tabulce mají uvedeny pro sálavý panel řady BDS2 o šířkách 300, 600, 900 a 1200 mm. Z tabulky se nejnižší doporučená výška zavěšení odečítá pomocí teploty teplonosné látky.

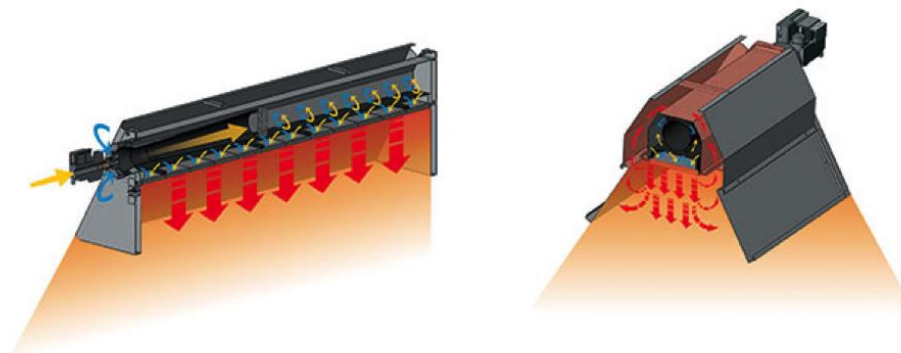
Tabulka 4 - Výšky zavěšení sálavých panelů firmy Sabiana [12]

Teplota teplonosné látky [°C]	BDS2-03	BDS2-06 BDS2-09	BDS2-12
	Nejnižší doporučená výška instalace [m]		
60	3,0	3,1	3,2
70	3,1	3,2	3,3
80	3,2	3,3	3,4
90	3,3	3,5	3,7
100	3,4	3,7	3,9
110	3,5	4,0	4,3
120	3,6	4,2	4,5
130	3,7	4,4	4,7
140	3,8	4,6	5,0

1.3.2 Světlé plynové zářiče

Jsou to plynová infračervená topná zařízení patřící do skupiny decentralizovaných typů vytápění. Využití je vhodné pro průmyslové haly od výšky 5 m, venkovní pracoviště a terasy. Mezi hlavní výhody patří nehlučný provoz, vytápění stálou teplotou, nenáročná montáž a rychlý náběh. Nevýhodou je nutná instalace ventilátorů v případě nedostatečného přirozeného větrání pro přívod spalovacího vzduchu a je třeba řešit odvod spalin. Teplo vzniká přímo v místě, kde je ho zapotřebí.

Spalováním plynu na keramické mřížce je dosaženo rozžhavením na teplotu přibližně 950 °C. Každá keramická deska obsahuje přibližně 3600 otvorů. Plyn proudí přes trysku. Jako palivo slouží zemní plyn, kapalný plyn nebo bioplyn. Potřebný vzduch pro spalování je nasáván pomocí přetlaku plynu na trysce. Uvnitř směšovací komory se tvoří směs vzduchu a plynu. Při spalování plynu na keramické mřížce vznikají nepatrné koncentrace škodlivých látek. Proto ve většině aplikací není nutný nucený odtah spalin, ale odvod spalin je proveden přirozeným větráním [13].

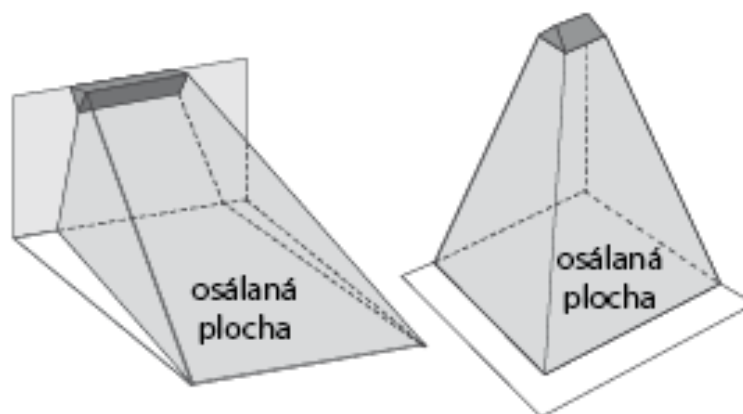


Obrázek 6 - Světlý plynový zářič [14]

K usměrňování sálavého toku slouží reflektor. Jeho konstrukce má největší podíl na sálavé účinnosti. Netěsnosti při spojení s keramickou deskou způsobují únik horkých spalin mimo prostor využití. Dodatečnou izolací reflektoru se sníží ztráta tepelné energie, která se tvoří pod stropem. Těsný reflektor vytváří tzv. spalinový polštář, který výrazně zvyšuje sálavou účinnost díky nahřívání reflektoru na teplotu cca 500 °C. Ty slouží jako dodatkové plochy sálající podobnou intenzitou jako tmavé zářiče.

Reflektory jsou nejčastěji ocelové, nerezové nebo hliníkové s různými povrchovými úpravami. Na boční straně je reflektor osazen startovacími elektrodami a elektrodou ionizační [15].

Světlé zářiče mají dva typy upevnění. Instalují se na stěnu nebo pod strop. Pro instalaci na zeď jsou dodávány speciální konzole, které se orientují žadáním směrem. Pro zavěšení zářiče pod strop slouží dva držáky se závěsnými háky pro zavěšení na řetízek. Pokud zdi nejsou chráněny nebo jsou vyrobeny z hořlavého materiálu, musí se dodržovat minimální vzdálenosti mezi infrazářičem a přilehlou zdí. Tyto vzdálenosti jsou dány jednotlivými výrobci [16].



Obrázek 7 - Zavěšení [17]

Infrazářiče jsou nastaveny na zvolený typ plynu. Přívod musí být osazen uzavíracím palivovým kohoutem a připojuje se pomocí ocelové pružné hadice. Přívodní potrubí musí být umístěno ve vzdálenosti minimálně 1 metru od prostoru, do kterého jsou vypouštěny produkty spalování a nesmí být vystaveno přímému sálání od infrazářiče [16].

Jedním z hlavních parametrů pro instalaci je výška zavěšení světlého plynového zářiče. Každý výrobce uvádí doporučené minimální výšky zavěšení zářičů vyplývající z hygienických požadavků.

Firma Kotrbatý uvádí tabulku, ze které lze odečítat výšky zavěšení dle zvoleného jmenovitého výkonu.

Tabulka 5 - Výšky zavěšení světelných plynových zářičů firmy Kotrbatý [18]

Typ zářiče	Jmenovitý výkon [kW]	Výška zavěšení [m]	
		0°	30°
MK 7	7	4,6	4,2
MK 11	11	5,3	4,8
MK 15	15	5,8	5,3
MK 18	18	6,1	5,5
MK 25	25	7,3	6,6
MK 36	36	7,7	6,9
MK 43	43	8,8	7,9

U výrobce Kaspo jsou také výšky zavěšení uvedeny v tabulce dle jmenovitého výkonu a polohy osy sálání.

Tabulka 6 - Výšky zavěšení světelných plynových zářičů firmy Kaspo [19]

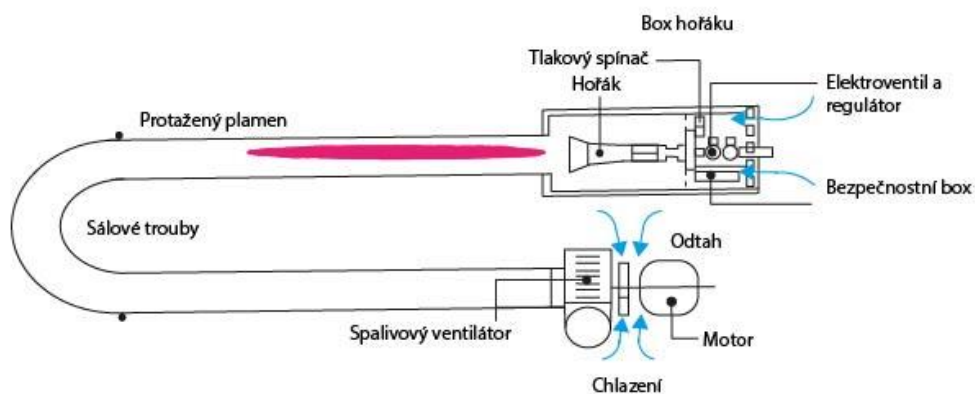
Typ zářiče	Jmenovitý výkon [kW]	poloha osy sálání		
		kolmo k zemi [m]	15° [m]	30° [m]
K 7	7	3,5	3,4	3,2
K 10	10	5,0	4,7	4,4
K15	15	5,9	5,5	5,0
K 20	20	6,5	6,3	5,8
K 25	25	7,2	7,1	6,5
K 30	30	7,9	7,7	7,1
K 40	40	8,4	8,2	7,7
K 50	50	8,9	8,6	8,4

1.3.3 Tmavé plynové zářiče vysokoteplotní

Stejně jako světlé plynové zářiče jsou i tmavé decentralizovaným typem vytápění. Teplo vzniká přímo v místě, kde je ho zapotřebí. Dovede velice rychle zvýšit teplotu v nižších, středně vysokých a vysokých objektech. Oblast použití je v halách výšky 5 až 8 m. Ve vyšších halách se účinnost snižuje. Mezi hlavní výhody patří spolehlivost, stabilita výkonu, nízké emise a nenáročná údržba. Nevýhodou je nucený odvod spalin mimo objekt, vyšší hmotnost a náročnější montáž.

Tmavý zářič sálá infračervené záření přes dlouhou tmavou sálavou trubici. Ta se vyrábí ve tvaru U nebo I. Hořák produkuje dlouhý laminární plamen v sálavé trubici. Plamen ohřívá trubici na teplotu přibližně 580 °C. Palivem pro hořák může být zemní plyn, kapalný plyn nebo bioplyn. Spalovací vzduch je přiváděn z vytápěného nebo venkovního prostoru.

Na konci zářiče je umístěno odkouření, které odvádí spaliny mimo vytápěnou budovu. Maximální doporučená délka kouřovodu je dána výrobcem. Nad sálavou trubicí jsou reflektory usměrňující záření požadovaným směrem. Izolací reflektoru snižujeme ztráty tepelné energie a také konvekční teplo pod střešou haly [20].



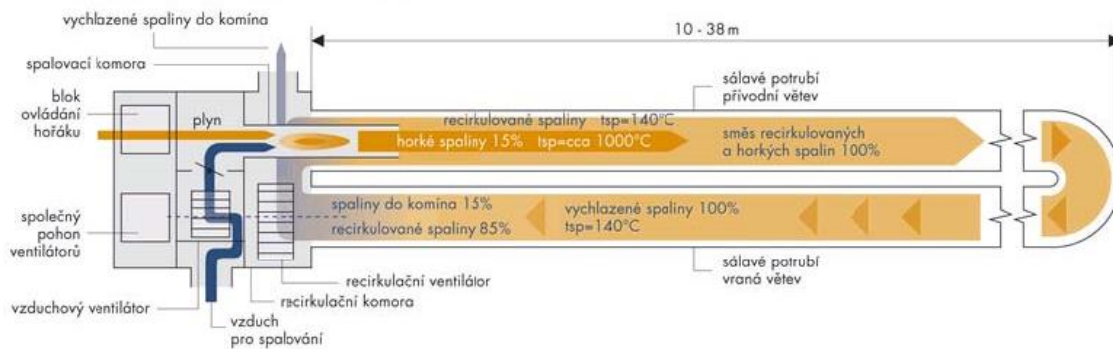
Obrázek 8 - Tmavý plynový zářič [21]

Provoz infrazářiče je řízen automatikou, která je umístěna v hořákové skříni. Dále je tam také tlakový spínač. Ten hlídá provozní tlak plynu v rozvodu.

Infrazářiče se zavěšují na konstrukci lankovým závěsným systémem, uzlovými řetízky nebo pomocí závitových tyčí [14].

1.3.4 Tmavé plynové zářiče nízkoteplotní

Jiným názvem také kompaktní plynové infrazářiče. Jsou určeny pro vytápění hal spalováním zemního plynu. Sálavý pás je složen ze dvou protisměrných trubíc. V nich cirkulují ohřáté spaliny. Tuto cirkulaci zajišťuje ventilátor. Z rekuperační komory se odvádí 10 až 15 % spalin do odtahu, který je veden mimo vytápěný objekt. Tento podíl je dán množstvím čerstvého vzduchu, jenž potřebuje přetlakový hořák pro svou spolehlivou činnost. Maximální teplota sálavých trubíc je nastavitelná v rozmezí 180 až 300 °C. Průměr těchto trubíc závisí na výrobci. Tepelná účinnost zářičů se pohybuje v rozmezí 91 až 95 % v závislosti na výrobci, typu a výkonu. Zářiče jsou vzhledem k vysokému využití spalin zařazeny do nejlepší, 4. třídy produkce NO_x [22].



Obrázek 9 - Funkce recirkulační jednotky zářiče [23]

Nastavení výkonu umožňuje využití zářiče v nízkoteplotním režimu. Tento režim má nejlepší hořákovou a sálavou účinnost společně s nižším teplotním namáháním zářiče. Minimální možnou teplotou je teplota 120 °C. Nižší teplota by způsobila kondenzaci vody, která je obsažena ve spalinách.

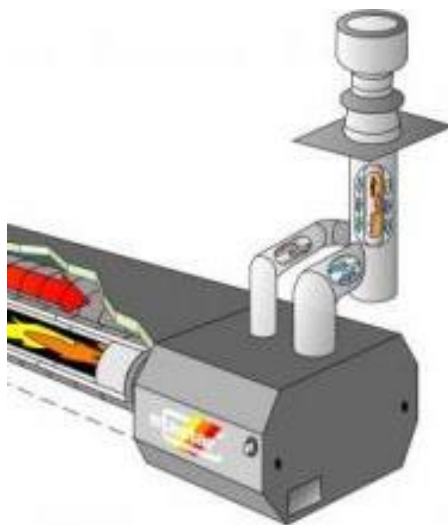
Sálavé trubice jsou ze spodní strany opatřeny černým nátěrem s vysokou emisivitou. Kryt zářiče je tvořen reflektorem umístěným na horní straně. Tento kryt brání sálání mimo stanovený úhel a zachycuje teplý stoupající vzduch. Izolace krytu zajišťuje minimální teplotu na horní ploše zářiče a na jeho bocích. Konvekční ohřívání vzduchu krytem je omezeno na minimum.

Ke spalování je použit speciální přetlakový hořák s ventilátorem, který dodává potřebné množství vzduchu pro spalování. Tento hořák není závislý na cirkulačním ventilátoru a to je jeho hlavní předností. Pokud je hořák v chodu, přivádí se do systému

optimální množství vzduchu pro hoření a stejné množství je odváděno odtahem spalin mimo budovu. Jestliže je ale hořák vypnut, nepřivádí se žádný vzduch a žádný vzduch ani není odváděn mimo objekt. V tomto případě spaliny cirkulují v zářiči a je využíváno naakumulovaného tepla. Není tedy ochlazován přísávaným vzduchem tak, jako v případě podtlakových hořáků, které jsou závislé na činnosti cirkulačního ventilátoru.

Chod zářiče je regulován mikroprocesorem s vestavěnými režimy v závislosti na teplotě v hale, požadované teplotě v hale a na teplotě venkovního vzduchu. Hořák pracuje systémem zapnuto/vypnuto, ale celý infrazářič je kontinuálně v chodu a sálavý panel je zahříván na potřebnou teplotu. Tímto řešením je minimalizováno nerovnoměrné pociťování teploty [22].

Plynové kompaktní infrazářiče jsou dodávány jako plynové spotřebiče typu B a C. U provedení C je vzduch nasáván dvouplášťovým odtahem spalin. Spotřebič B vzduch nasává přímo z prostředí haly. Odkouření je vyrobeno kompletně z nerezové oceli nebo hliníku a je vedeno horizontálně přes stěnu nebo vertikálně nad střechu ven [23].



Obrázek 10 - Odtah spalin [24]

1.3.5 Elektrické zářiče

Jsou vhodné pro vytápění průmyslových objektů, ale také bytových a kancelářských prostor. Uplatňují se tam, kde je vyžadováno vytápění s vysokým uživatelským komfortem. Běžně se instalují do montážních výšek od 2,5 do 8 m. Mezi hlavní typy patří vysokoteplotní, nízkoteplotní a Quartzové zářiče.

U vysokoteplotních je topným prvkem hliníková topná lamela opatřena elektrochemickou úpravou vyzařující záření v úhlu až 180 °. Teplota na povrchu lamel je až 350 °C. Tato technologie zajišťuje výhodnou hodnotu emisivity, která se blíží emisivitě černého tělesa. Konstrukce je tvořena z několika řad lamel. Nejčastěji jedno, dvou a tří lamelových provedení.

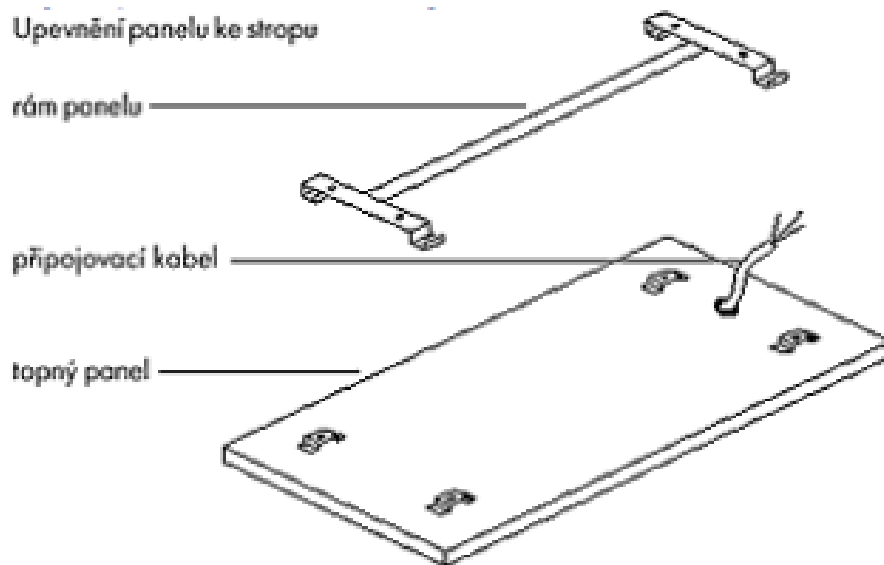


Obrázek 11 - Elektrický zářič [25]

Uvnitř panelu je tepelná izolace z minerální vlny. Ta brání unikání tepla zadní stranou panelu a zvýší tak účinnost sálání. Panely jsou kryty plechovým lakovaným pláštěm.

Provoz elektrických zářičů je řízen regulací, která snímá teplotu vytápěného prostoru. Prostor je možno dle velikosti a způsobu využívání regulovat jako jeden celek nebo ho lze rozdělit do zón. Jednotlivé zóny se dají regulovat individuálně. Nejběžnější je regulace termostaty. Umisťují se přímo do místnosti s topnými panely.

Panely se instalují přímo na strop pomocí přípevňovacího montážního rámu do kazetových stropů, nebo se zavěšují na lanka či řetízky. Připojení se provádí do svorkovnice umístěné na boku panelu [25].



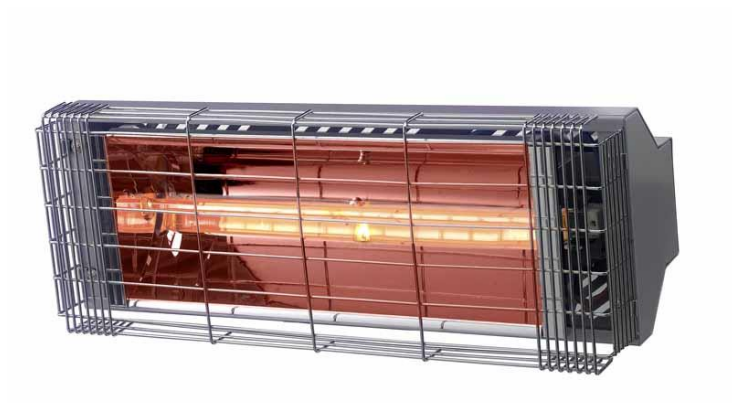
Obrázek 12 - Upevnění panelu [25]

Základem nízkoteplotního panelu je nosný rám z ocelového pozinkovaného plechu s čelní topnou plochou, která je opatřena povrchovou úpravou na bázi křemíkových krystalů. Panel bývá na povrchu zrnitý, což poskytuje větší přestupní plochu proti hladké ploše. Topným prvkem je speciální tkaná topná fólie na bázi grafitu nebo výplet z izolovaného odporového vodiče. Mezi topným prvkem a čelní topnou plochou je umístěna dielektrická izolační deska.

Na horní straně panelu je tepelná izolace z čedičové vlny, která brání unikání tepla zadní stranou.

Nejčastěji se umísťují na stropní konstrukce a to tak, aby jejich výkon vyrovnával bilanci jednotlivých ploch. Lze je také umísťovat pod náklonem nebo do svislé polohy na obvodovou stěnu.

Quartzové zářiče mají uprostřed wolframové vlákno, které je ohřáté až na 2700 °C. Kolem vlákna je trubice z křemenného skla. Ta zcela propouští blízké infračervené záření. Jejich provoz je tichý, bezpečný, nevíří prach a neprodukuje škodliviny [26].



Obrázek 13 - Quartzový zářič [27]

2 STAV PROBLEMATIKY

Ve vyspělých zemích je kladen stále větší důraz na úsporu paliv a energie vyvolaný ropnými krizemi a následným zvýšením cen ropy a jiných paliv. Dále se k tomu také přidávají problémy spojené s ochranou životního prostředí, které donutily vlády k přijetí řady opatření v podobě norem a zákonů. Tyto dohody o snížení škodlivin jsou hlavní důvodem technického vývoje spotřebičů paliv a energie. To platí i pro oblast vytápění budov, protože výroba tepla pro tyto účely je vysoká a zdroje vytápění patří mezi hlavní znečišťovatele životního prostředí. V posledních letech proto došlo k výraznému vývoji jak u vytápěcích soustav, tak u komponentů pro tyto systémy.

Vytápění velkoprostorových objektů ovlivnily především plynové infrazářiče, které jsou moderním prvkem pro vytápění plynými palivy. V mnoha případech je to pro vytápění hal energeticky a ekologicky úsporné řešení v porovnání s jinými systémy.

Vytápění a větrání v halách slouží k udržení požadovaných stavů prostředí v závislosti na osobách pracujících v hale, probíhajících výrobních procesech nebo citlivosti skladovaného zboží [28].

2.1 Legislativa

2.1.1 Bezpečné vzdálenosti ve směru sálání

Zářiče musí být umístěny tak, aby teplota povrchů přilehlých stavebních konstrukcí, podlahové krytiny a hořlavých zařizovacích předmětů, ve směru hlavního sálání při zkušebních podmínkách uvedených v ČSN 06 1008 nepřesáhla hodnotu 100 °C. Pokud tyto vzdálenosti nejsou předepsány dokumentací, musí být při instalaci dodržovány bezpečné vzdálenosti stanovené touto normou. Vzdálenosti se určují v závislosti na emisivitě povrchu (dříve číslu sálání) zářiče a jeho jmenovitém příkonu. Hořlavé předměty se v hlavním směru sálání nesmí umísťovat blíže než 2 m u světlých a 1 m u tmavých plynových zářičů.

V ostatních směrech musí být zářiče umístěny tak, aby při zkušebních podmínkách uvedených v ČSN 06 1008 nepřesáhla teplota okolních povrchů 100 °C [29].

2.1.2 Minimální vzdálenost od osob

Při běžných aplikacích je doporučeno umisťovat zářiče tak, aby byl dodržen požadavek maximálního sálání v rovině temene hlavy $I_{smax} = 200W/m^2$. Tuto hodnotu lze dodržet zavěšením do minimální výšky dle pokynů výrobce. Pokud nejsou minimální výšky zavěšení uvedeny výrobcem v dokumentaci, tak platí hodnoty z následujících tabulek [30].

Tabulka 7 - Minimální výšky zavěšení světlých zářičů [29]

Jmenovitý tepelný výkon zářiče [kW]	Minimální výška zavěšení při maximální intenzitě sálání $200 W/m^2$ [m]	
	Vodorovné zavěšení	Šikmé zavěšení pod úhlem do 30°
≤ 10	5,0	4,5
20	6,0	5,5
30	7,0	6,5
40	7,5	7,0
> 40	8,0	7,5

Tabulka 8 - Minimální výšky zavěšení tmavých zářičů [29]

Jmenovitý tepelný výkon zářiče [kW]	Minimální výška zavěšení při maximální intenzitě sálání $200 W/m^2$ [m]	
	Vodorovné zavěšení	Šikmé zavěšení pod úhlem do 30°
≤ 10	3,8	3,5
20	4,2	3,9
30	4,7	4,4
40	5,1	4,8
> 40	5,5	5,2

2.2 Stav na trhu

2.2.1 Sálavé panely

Na trhu se nachází mnoho typů sálavých panelů od různých výrobců. Mezi hlavní české zástupce patří firma Kotrbatý. V jejich sortimentu se nachází panely odolné proti korozi, proti mechanickému poškození a pro zvýšení akustické pohltivosti. Možností je také zabudování integrovaného osvětlení nebo volba různých barevných variant.

Jednou z hlavních světových firem tohoto odvětví je firma Zehnder. Mezi další světové výrobce se řadí firmy Sabiana, Fraccaro a Frenger. Jednotlivé produkty firem se liší především materiálem, hmotností, velikostí panelů a vzhledem. Hlavní rozdíl mezi výrobci je v doporučené minimální výšce zavěšení sálavých panelů.

Tabulka 9 - Výrobci sálavých panelů

	Výrobci	Doporučené minimální výšky zavěšení [mm]	Střední teplota teplonosné látky [°C]	Výkon pro teplotní spád $\Delta t = 80K$ a šířku 900mm [W/m]	Výrobní šířka panelů [mm]
Sálavé panely	Fraccaro	2200*	80	789	300-1200
	Sabiana	3300	80	627	300-1200
	Zehnder	7000	91	788	300-1200
	Frenger	2750*	80	795	300-1500
	Kotrbatý	5000	100	773	300-1500
	Sunline	5000	85	754	300-1500
	Systema	2500*	80	718	300-1200

*uvedené hodnoty jsou odečteny z prospektu výrobce bez uvedení povrchové teploty a plochy pokrytí.

2.2.2 Světlé plynové zářiče

Celosvětově největším dodavatelem světlych plynových zářičů je firma Schwank. Českým zástupcem je především firma Kotrbatý. Dalšími výrobci jsou firmy Adrian, Gewea, Spaceray a Fracarro. Výkonové řady se pohybují od 5 do 60 kW.

Tabulka 10 - Výrobci světlych plynových zářičů

	Výrobci	Doporučené minimální výšky zavěšení [mm]	Max. Povrchová teplota [°C]	Výrobní rozsah výkonů [kW]
Světlé plynové zářiče	Schwank	7300	950	6-40
	Gogas	7600	950	6-36
	Gweea	8100	900	7-36
	Spaceray	7100	1000	9-47
	Carlieuclima	7800	1000	7-54
	Fracarro	7800	900	5-40
	Ambirad	7300	900	8-47
	Omnitherm	6800	900	6-26
	Kaspo	7200	950	7-50
	Systema	7000	1000	8-60
	Kotrbatý	7300	850	7-43

2.2.3 Tmavé plynové zářiče vysokoteplotní

Také u tmavých vysokoteplotních plynových zářičů je hlavním výrobcem firma Schwank. Mezi další firmy patří Ambirad, Fracarro a Systema. Českým zástupcem jsou firmy Kotrbatý, Lersen a Mandík.

Tabulka 11 - Výrobci tmavých plynových vysokoteplotních zářičů

	Výrobci	Doporučené minimální výšky zavěšení [mm]	Povrchová teplota [°C]	Výrobní rozsah výkonů [kW]
Tmavé plynové zářiče vysokoteplotní	Lersen	7000	500	16-50
	Ambirad	5800	500	15-50
	Fracarro	5800	550	10-50
	Schwank	7600	650	15-60
	Kubler	5700	550	13-50
	Kotrbatý	6300	500	5-50
	Mandík	7100	500	6-45
	Omnitherm	5800	550	12-36
	Systema	5800	450	28-60

2.2.4 Tmavé plynové zářiče nízkoteplotní

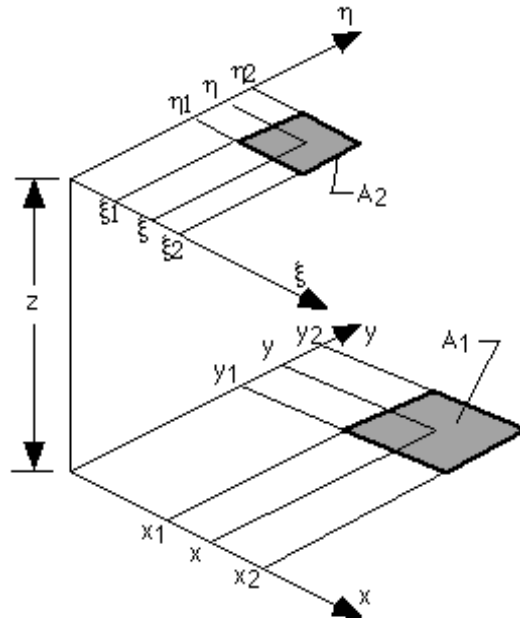
Mezi hlavní výrobce nízkoteplotních plynových zářičů lze zařadit světové firmy Fracarro, Carlueclima, Schulte, Omnitherm a Systema. Mezi české výrobce patří firma Kaspo. Vzhledem k malému rozšíření těchto zařízení je výrobců poměrně malé množství. Výrobci ve svých popiscích zařízení neuvádějí minimální doporučenou výšku zavěšení. Proto nelze vytvořit porovnávací tabulku hodnot.

2.2.5 Elektrické zářiče

Trh s elektrickými zářiči je široký. Obsahuje mnoho výrobců, ale žádný z nich se nezabývá těmito technickými detaily. Proto je velice málo uvedených údajů o jednotlivých výrobcích. Není tedy možné sestavit kompletní tabulku výrobních parametrů a doporučené minimální zavěšení zářičů. Do skupiny výrobců patří české zastoupení firem Fenix, Bionaire, Dimplex a Redwave. Mezinárodní zastoupení zastává Veito a Ufoinfrared.

3 TEORETICKÁ ANALÝZA

Výpočet minimální potřebné výšky zavěšení pro dodržení intenzity osálení $I_{max} = 200 \text{ W/m}^2$ provedeme pomocí rovnic dle Johna R. Howela. Nejprve vypočteme poměr osálení mezi sálající a pohlcující plochou φ_{1-2} .



Obrázek 14 - Schéma pro výpočet poměru osálení mezi obecně položenými plochami konečných rozměrů - Howell [31]

$$G = \frac{1}{2\pi} \left(\begin{array}{l} (y - \eta) \left[(x - \xi)^2 + z^2 \right]^{1/2} \tan^{-1} \left\{ \frac{y - \eta}{\left[(x - \xi)^2 + z^2 \right]^{1/2}} \right\} \\ + (x - \xi) \left[(y - \eta)^2 + z^2 \right]^{1/2} \tan^{-1} \left\{ \frac{x - \xi}{\left[(y - \eta)^2 + z^2 \right]^{1/2}} \right\} \\ - \frac{z^2}{2} \ln \left[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + z^2 \right] \end{array} \right) \quad (3.1)$$

$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{(x_2 - x_1) * (y_2 - y_1)} * \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (-1)^{(i+j+k+l)} G(x_i, y_j, \eta_k, \xi_l) \quad (3.2)$$

Dále odvodíme vzorec pro výpočet výsledného tepelného toku. Následně spočteme výkon Q_{S1-2} , který sálající plocha vyzařuje.

$$Q_S = \sigma * \varepsilon * T^4 * \varphi * A \quad (3.3)$$

$$\varphi_{1-2} * A_1 = \varphi_{2-1} * A_2 \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} Q_{S1-2} &= Q_{S1} - Q_{S2} = \\ &= \sigma * \varepsilon_1 * T_1^4 * \varphi_{1-2} * A_1 - \sigma * \varepsilon_2 * T_2^4 * \varphi_{2-1} * A_2 = \\ &= \sigma * \varepsilon_1 * T_1^4 * \varphi_{1-2} * A_1 - \sigma * \varepsilon_2 * T_2^4 * \varphi_{1-2} * A_1 = \\ &= \sigma * \varphi_{1-2} * A_1 (\varepsilon_1 * T_1^4 - \varepsilon_2 * T_2^4) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Pomocí vyzářeného výkonu Q_{S1-2} zjistíme intenzitu osálení I_{max} z plochy A_1 na zjišťovaný povrch A_2 .

$$I_{max} = \frac{Q_{S1-2}}{A_2} \quad (3.6)$$

K výsledným hodnotám výšky zavěšení se dostaneme postupnou iterací pomocí změny vstupních hodnot. Mezi vstupní hodnoty patří povrchová teplota, plocha, celkový výkon, emisivita a pozice zavěšení sálavého zdroje a osálené plochy. Dále předpokládáme zanedbání následujících zjednodušení:

- 1) Neznáme skutečné povrchové teploty, které výrobce použil.
 - 2) Uvažujeme rovnoměrnou teplotu na otopné ploše.
 - 3) Výpočet nezahrnuje proudění vzduchu.
 - 4) Je zanedbán odraz sálání od stěn.
 - 5) Není uvažována absorpce v prostoru.
 - 6) Je zahrnuta pouze jedna otopná plocha.
- Tato zjednodušení mohou mít za následek nepřesnosti ve výpočtu.

Povrchová teplota, emisivita a sálající plocha je volena dle výrobce daného zářiče. Plochu, která přijímá sálání, jsme definovali jako plochu temene hlavy o rozměru 0,2 x 0,2 m ve výšce 1,8 m nad zemí o emisivitě 0,98. Emisivita temene hlavy je stanovena pro povrchovou teplotu 32 °C a je odečtena z následující tabulky emisivit materiálů.

Tabulka 12 - Emisivity materiálů [32]

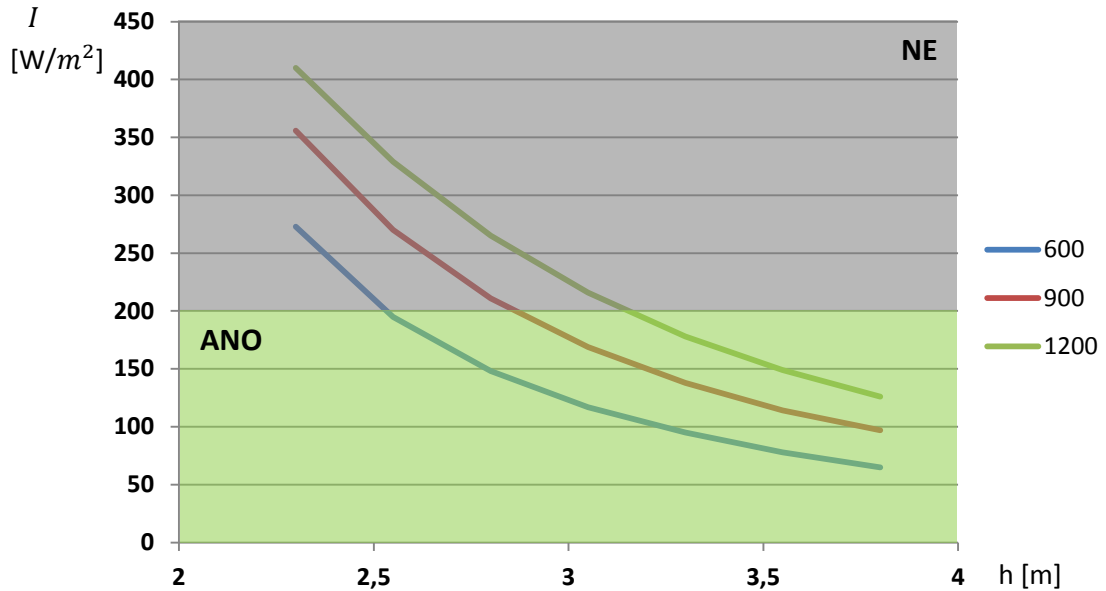
materiál	teplota [°C]	emisivita
cihla šamotová	20	0,85
hliník	100	0,05
voda	0-20	0,96
nerezová ocel	700	0,70
lidská kůže	32	0,98

Pro náš kontrolní výpočet byly zvoleny parametry panelů a zářičů dle výrobních řad firmy Kotrbatý. Jsou voleny dle velikosti plochy, povrchové teploty a celkového výkonu. Výsledné hodnoty minimální výšky zavěšení jsou uvedeny v následující tabulce společně se vstupními parametry.

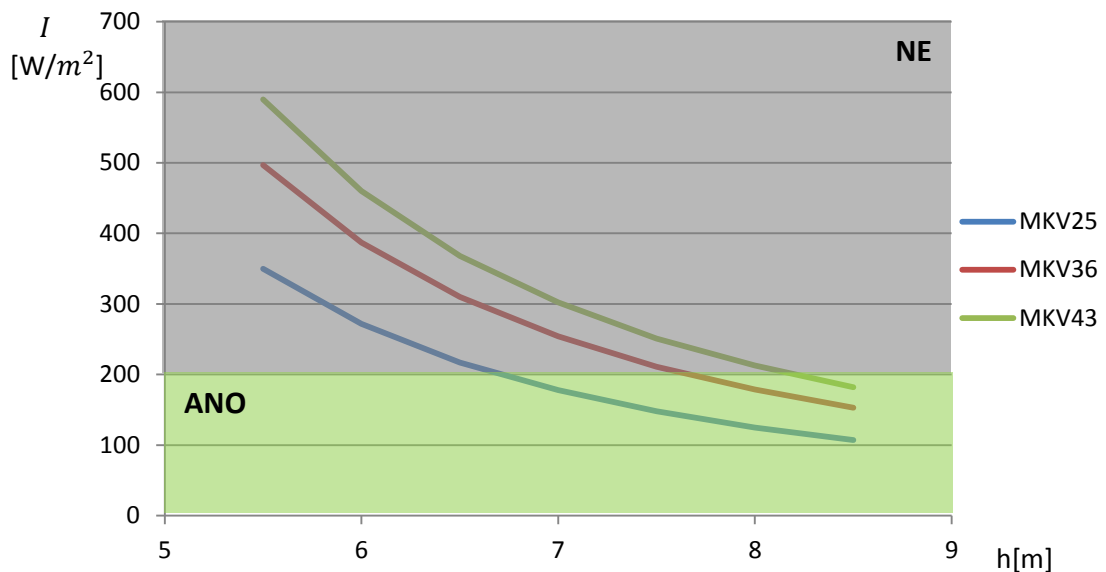
Tabulka 13 - Vstupní a výstupní hodnoty

	Sálavé panely	Světlé zářiče	Tmavé zářiče
teplota [°C]	100	850	350
plocha [m^2]	3,60	0,18	0,80
celkový výkon [kW]	3,1	25,0	12,0
minimální výška zavěšení pro $I_{max} =$ $200W/m^2$ [m]	2,86	6,50	4,47

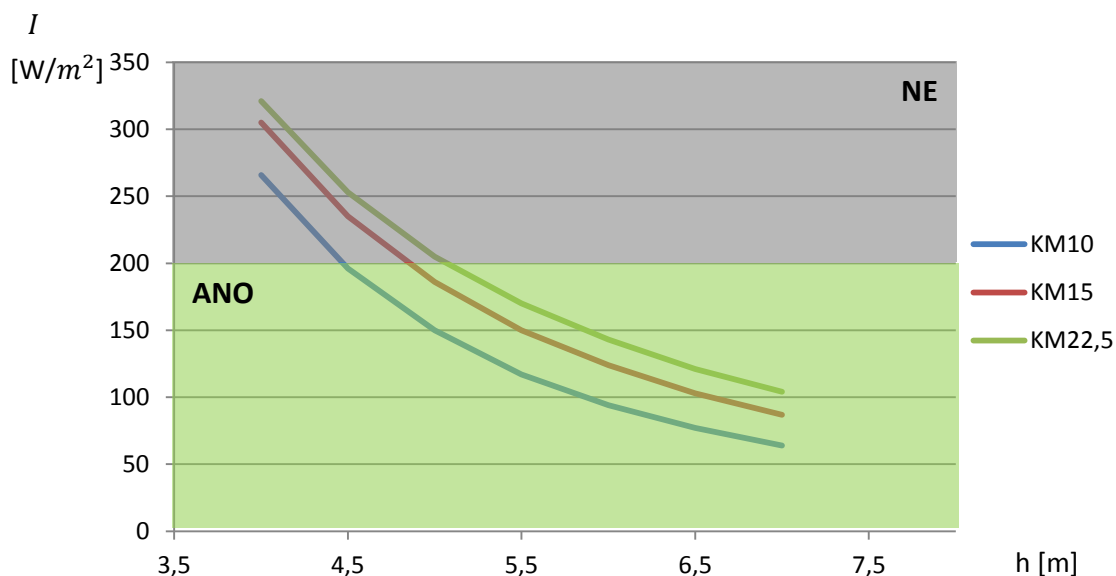
Pro jednotlivé spotřebiče byly sestaveny grafy pro vyjádření závislosti intenzity osálení na výšce zavěšení. Z grafů lze odečíst jak minimální hygienickou výšku zavěšení, tak oblast použitelnosti daného spotřebiče.



Obrázek 15 - Sálavé panely - Závislost intenzity osálení I na výšce zavěšení h pro šířky panelů 600, 900, 1200 mm



Obrázek 16 - Světelné plynové zářiče - Závislost intenzity osálení I na výšce zavěšení h pro výkonové jednotky 25, 36 a 43 kW



Obrázek 17 - Tmavé plynové zářiče - Závislost intenzity osálení I na výšce zavěšení h pro výkony 10, 15 a 22,5 kW

Vypočtené hodnoty pro jednotlivé výrobce sálavých panelů a jejich porovnání s doporučenými výškami zavěšení jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 14 - Porovnání výsledných a doporučených výšek zavěšení pro sálavé panely

	Výrobci	Doporučené minimální výšky zavěšení [mm]	Střední teplota teplotnosné látky [°C]	Vypočtená výška zavěšení [mm]	Srovnání výsledných hodnot [mm]
Sálavé panely	Fraccaro	2200*	80	2400	200
	Sabiana	3300	80	2400	900
	Zehnder	5000	83	2470	2530
	Frenger	2750*	80	2400	350
	Kotrbatý	5000	100	2860	2140
	Sunline	5000	85	2520	2480
	Systema	2500*	80	2400	100

*uvedené hodnoty jsou odečteny z prospektu výrobce bez uvedení povrchové teploty a plochy pokrytí.

Červeně označená hodnota ve sloupci Srovnání výsledných hodnot znamená nižší výrobcem Doporučenou minimální výšku zavěšení než je Vypočtená výška zavěšení. U ostatních výrobců jsou vypočtené hodnoty nižší než doporučené minimální výšky zavěšení a tak je možno panely zavěsit níže. Odlišné vypočtené a minimální doporučené výšky zavěšení mohou být vysvětleny různým postupem určování těchto hodnot výrobcí. Firma Systema, Frenger a Fraccaro se od našich vypočtených výšek zavěšení liší jen minimálně. Ostatní výrobci volí raději výšku zavěšení na straně bezpečnosti. U firmy Kotrbatý a Zehnder je doporučená minimální výška zavěšení ovlivněna pokrytím stropu panely.

Srovnání doporučených a vypočtených minimálních výšek zavěšení pro světlé plynové zářiče je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 15 - Porovnání výsledných a doporučených výšek zavěšení pro světlé plynové zářiče

	Výrobci	Doporučené minimální výšky zavěšení [mm]	Max. Povrchová teplota [°C]	Vypočtená výška zavěšení [mm]	Srovnání výsledných hodnot [mm]
Světlé plynové zářiče	Schwank	7300	950	7450	150
	Gogas	7600	950	7450	150
	Gewea	8100	900	6970	1130
	Spaceray	7100	1000	7960	860
	Carlieuclima	7800	1000	7960	160
	Fracarro	7800	900	6970	830
	Ambirad	7300	900	6970	330
	Omnitherm	6800	900	6970	170
	Kaspo	7200	950	7450	250
	Systema	7000	1000	7960	960
	Kotrbatý	7300	850	6500	800

Červeně označené hodnoty Srovnání výsledných hodnot značí vyšší Vypočtenou výšku zavěšení než výrobci Doporučenou minimální výšku zavěšení. Firmy Kotrbatý, Fraccaro, Gewea, Gogas a Ambirad se nacházejí na straně bezpečnosti. Naopak Spaceray a Systema jsou pod hranicí bezpečnosti o značnou výšku zavěšení.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty výsledného srovnání vypočtené a doporučené minimální výšky zavěšení.

Tabulka 16 - Porovnání výsledných a doporučených výšek zavěšení pro tmavé plynové zářiče vysokoteplotní

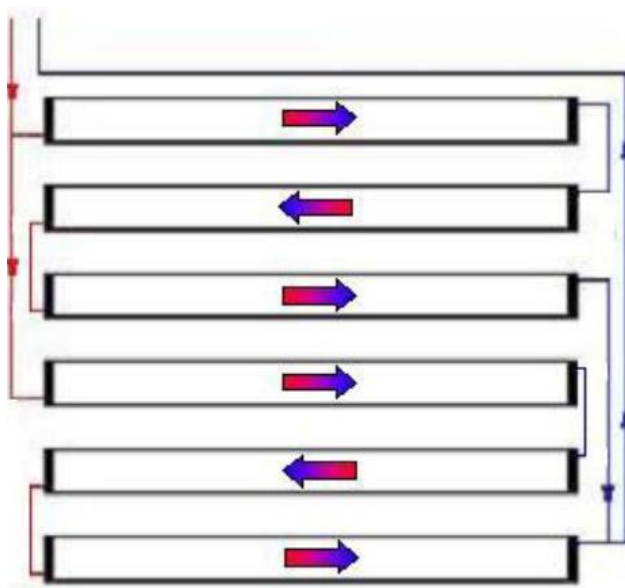
	Výrobci	Doporučené minimální výšky zavěšení [mm]	Povrchová teplota [°C]	Vypočtená výška zavěšení [mm]	Srovnání výsledných hodnot [mm]
Tmavé plynové zářiče vysokoteplotní	Lersen	7000	500	6360	640
	Ambirad	5800	500	6360	560
	Fracarro	5800	550	7060	1260
	Schwank	7600	650	8550	950
	Kubler	5700	550	7060	1360
	Kotrbatý	6300	500	6360	60
	Mandik	7100	500	6360	740
	Omnitherm	5800	550	7060	1260
	Systema	5800	450	5700	100

U zeleně označených výsledků jednotlivých firem lze snížit jejich Doporučenou minimální výšku zavěšení na hodnotu nižší. Červeně označené hodnoty dosahují nižší Doporučené výšky zavěšení než Vypočtené výšky zavěšení.

4 ZÁVĚR

Byla zpracována rešerše trhu, která popisuje konstrukci, způsob využití a výrobce jednotlivých spotřebičů. Stav problematiky popisuje legislativu bezpečných vzdáleností ve směru sálání. Dále byl vytvořen analytický model sloužící k výpočtu minimálních výšek zavěšení jednotlivých výrobků. Z těchto vypočtených hodnot byly sestaveny tabulky, ve kterých jsou srovnány vypočtené hodnoty s hodnotami od výrobců. Dle vypočtených minimálních výšek zavěšení a jejich porovnání s doporučením výrobců lze usoudit, že definované minimální výšky u zeleně označených výrobců v tabulkách č. 14, 15 a 16 jsou na straně bezpečnosti a ve skutečnosti je možné zavěsit panely ještě níže. Červeně označení výrobci v těchto tabulkách se nenacházejí na straně bezpečnosti. To může být způsobeno nepřesností výrobcem uvedené povrchové teploty spotřebiče, která je použita při našem výpočtu nebo také zanedbáním uvedených zjednodušení.

Při zapojení sálavých panelů je velice důležitý způsob, velikost a délka. Zvětšením rozteče panelu se intenzita rázně zvýší. Naopak délka panelu má vliv jen minimální. Důležité jsou také průběhy teplot. Na vstupu do panelu je teplota nejvyšší a s postupnou délkou klesá. Proto se panely zapojují do různých kombinací pro vyrovnání vstupní a výstupní teploty panelu. Tyto teploty se průměrují. Proto se užívají nižší povrchové teploty, než jsou vstupní.



Obrázek 18 - Sériové zapojení Sálavých panelů [33]

Světlé plynové zářiče jsou bodovými zdroji. Proto jejich rozměr nemá zásadní vliv na intenzitu osálení. Vzhledem k jejich vysoké povrchové teplotě je výška zavěšení nejvyšší.

U tmavých plynových zářičů se intenzita osálení také ovlivňuje jejich rozměry. Hlavním ovlivňujícím rozměrem je šířka, která je dána výrobcem a moc se nemění. Problematickým rozměrem je délka a druh zářiče. S délkou postupně klesá teplota, která byla na vstupu nejvyšší. Proto je velice důležitý také druh zářiče. Na příklad spotřebič typu I má na vstupu vyšší teplotu než na výstupu. Vstup i výstup je umístěn na opačné straně zářiče.



Obrázek 19 - Tmavý plynový zářič typu U [34]

Pro spotřebič typu U je teplota s délkou také klesající, ale vstup se nachází vedle výstupu, a tak se teploty průměrují stejně jako u sálavých panelů.

5 Seznam použité literatury

- [1] BROŽ, Karel. *Vytápění*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02536-5.
- [2] NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-03492-5.
- [3] Kulový teploměr. *Automa* [online]. Praha: Česká metrologická společnost, - [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/kulovy-teplomer-2005_11_30770_1022/
- [4] HOTTEL, Hoyt C. a Adel F. SAROFIM. *Přenos tepla zářením*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979.
- [5] *Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů VII* [online]. 2006 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3416-vytopeni-prumyslovych-a-velkoprostorovych-objektu-vii>
- [6] Technický katalog. *Stropní sálavé panely* [online]. 2006, 1-8 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=287
- [7] Stropní panely. *TOPIN* [online]. 2016,1-1 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/stropni-panely-pro-usporne-salave-vytopeni-a-chlazenivyrobnich-skladovacich-a-sportovnich-hal-a-jinych-verejnych-objektu-detail-1113>
- [8] Světlé plynové keramické infrazářiče. *Topeni pro haly* [online]. 2015 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: http://www.topeni-pro-haly.cz/infrazarice_svetle.html
- [9] Stavebnicová otopná soustava. In: *Kotrbatý* [online]. Praha, 2013 [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: <http://kotrбаты.cz/data/file/Vyrobky/02-KSP/02-10-KSP-TP-01-2014.pdf>
- [10] Stropní systém pro vytápění a chlazení: Technický katalog. *Zehnder ZIP* [online]. , 18-19 [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: <http://www.zehnder.cz/downloads/rhc/55/0>

- [11] Technické informace. *Sunline* [online]. Dingelstadt, , 1-40 [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: https://sunlineheizflaechen.de/wpcontent/uploads/downloads/Download_114.pdf
- [12] Stropní sálavé panely: Technický katalog. *BOKI industries* [online]. , 7-8 [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: http://www.bokiheat.eu/userfiles/files/BOKI_BDS_2016_CZ.pdf
- [13] Princip světlého zářiče. *Perspektivní a energeticky úsporné průmyslové vytápění* [online]. 2013,1-12[cit.2017-04-28]. Dostupné z: http://www.schwank.cz/fileadmin/00_customer/cz/pdf/Hellstrahler-Prinzip_CZ.pdf
- [14] COMPACT- Návod k použití. *Tmavé infrazářiče systém plynového vytápění* [online]. 2016,1-29[cit.2017-04-28]. Dostupné z: http://lersen.cz/assets/data/48/9/manual%20_COMPACT_52.02.04.17.pdf
- [15] Světlé infrazářiče. *Světlé infrazářiče* [online] 1-2[cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.kaspo.cz/download/obecne/dalsi-informace-svetle-zarice.pdf>
- [16] Návod k použití, technické podmínky. *Světlé plynové infrazářiče* [online]. 2017, 1-24[cit.2017-04-28]. Dostupné z: http://lersen.cz/assets/data/426/9/manual_LMK_svetle-infrazarice_01.26.02.17.pdf
- [17] Plynový světlý infrazářič. *Stylove-topeni* [online]. Trutnov [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.stylove-topeni.cz/plynovy-svetly-infrazaric-dc-1616p-eco-nerezovy-reflektor-standard-p139157/>
- [18] Světlý infračervený plynový zářič: Technické podmínky. *Kotrbatý* [online]. Praha, , 12-13 [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <http://kotrбаты.cz/data/file/Vyrobky/03-20-MK/03-20-MK-TP-00-2012.pdf>
- [19] Montážní pokyny. *Kaspo* [online]. , 1-1 [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <http://www.kaspo.cz/download/svetly/montazni-pokyny-svetle-iz.pdf>

[20] Princip tmavého zářiče. *Inovativní a energeticky úsporné vytápění hal* [online]. 2013, , 1-12[cit.2017-04-28]. Dostupné z:

http://www.schwank.cz/fileadmin/00_customer/cz/pdf/Dunkelstrahlerbrosch%C3%BCr_e_CZ.pdf

[21] Teoretická část vytápění. *Publi - Učební text pro obor instalatér* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/177/02.html>

[22] Nízkoteplotní kompaktní infrazářič Kaspo. *Kaspo plynové infrazářiče* [online]. 2001,1-3[cit.2017-05-26].

Dostupné z: <http://www.kaspo.cz/download/kompakt/podrobne-informace-kompaktiz.pdf>

[23] HOJER, Ondřej. *Základy sálavého vytápění: Plynové sálavé vytápění* [online]. In: . 2013,s.14-37[cit.2017-06-15].

Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/ondrej.hojer/index_soubory/ZSV_p%C5%99_7.pdf

[24] Hospodárné a komfortní vytápění hal. *Schulte* [online]. invioCMS, 2007

[cit. 2017-06-16]. Dostupné z: <http://www.teplovhale.cz/technologie/salave-infrazarice-schulte/>

[25] ECOSUN S+. *Fenix* [online].[cit.2017-04-28].

Dostupné z: <http://www.fenixgroup.cz/cs/produkty/ecosun-s>

[26] HOJER,Ondřej. *Základy sálavého vytápění: Elektrické sálavé vytápění* [online]. In: .2013,s.1-29[cit.2017-06-15].

Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/ondrej.hojer/index_soubory/ZSV_p%C5%99_9.pdf

[27] Bionaire. *Sálavá topidla* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2017-05-26].

Dostupné z: <http://www.bionaire.cz>

[28] ŠKORPIL, Jaroslav. *Plynové tepelné zářiče: ekonomické vytápění hal*. Praha:

GAS, 1997. GAS. ISBN 80-902339-4-5.

[29] *Vytápění závěsnými plynovými světlymi a tmavými zářiči. Projektování, instalace a provoz*. Praha: Realizace a vydání technických pravidel, 2016.

[30] *Vytápění závěsnými plynovými světlymi a tmavými zářiči*. Praha: ČPS, 2016.

[31] Radiation heat. *THERMALRADIATION.NET* [online]. University of Texas at Austin, 2010 [cit. 2017-06-01].

Dostupné z: <http://www.thermalradiation.net/indexCat.html>

[32] Termokamera. *Termokamera.cz* [online]. [cit. 2017-06-15].

Dostupné z: <http://www.termokamera.cz>

[33] Vytápění a vzduchotechnika. *4heat* [online]. Brno, 2012 [cit. 2017-06-16].

Dostupné z: <http://www.4heat.cz/produkty/tepluvodni-klimatizacni-salave-panely/postup-navrh-vytapeni/>

[34] Výrobky a služby pro životní prostředí a ekologii. *EnviMarket* [online]. 2009 [cit. 2017-06-16].

Dostupné z: http://www.envimarket.cz/?env=_bci/Infraz%E1%F8i%E8e.html

6 Seznam norem

ČSN 06 1008 ; 1997 ; Požární bezpečnost tepelných zařízení

7 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Průměrná produkce tepla dospělého člověka o hmotnosti 75 kg [1]	8
Tabulka 2 - Výšky zavěšení sálavých panelů firmy Zehnder [10]	15
Tabulka 3 - Výšky zavěšení sálavých panelů firmy Sunline [11]	15
Tabulka 4 - Výšky zavěšení sálavých panelů firmy Sabiana [12]	16
Tabulka 5 - Výšky zavěšení světlých plynových zářičů firmy Kotrbatý [18]	19
Tabulka 6 - Výšky zavěšení světlých plynových zářičů firmy Kaspo [19]	19
Tabulka 7 - Minimální výšky zavěšení světlých zářičů [29]	27
Tabulka 8 - Minimální výšky zavěšení tmavých zářičů [29]	27
Tabulka 9 - Výrobci sálavých panelů	28
Tabulka 10 - Výrobci světlých plynových zářičů	29
Tabulka 11 - Výrobci tmavých plynových vysokoteplotních zářičů	30
Tabulka 12 - Emisivity materiálů [32]	33
Tabulka 13 - Vstupní a výstupní hodnoty	33
Tabulka 14 - Porovnání výsledných a doporučených výšek zavěšení pro sálavé panely	35
Tabulka 15 - Porovnání výsledných a doporučených výšek zavěšení pro světlé plynové zářiče	36
Tabulka 16 - Porovnání výsledných a doporučených výšek zavěšení pro tmavé plynové zářiče vysokoteplotní	37

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Kulový teploměr Vernonův [3].....	9
Obrázek 2 - Stropní sálavý panel [7]	11
Obrázek 3 - Poměr osálení sálavých panelů-široké haly [8]	12
Obrázek 4 - Poměr osálení sálavých panelů-úzké haly [8].....	13
Obrázek 5 - Diagram výšek zavěšení sálavých panelů firmy Kotrbatý [9].....	14
Obrázek 6 - Světlý plynový zářič [14].....	17
Obrázek 7 - Zavěšení [17]	18
Obrázek 8 - Tmavý plynový zářič [21].....	20
Obrázek 9 - Funkce recirkulační jednotky zářiče [23]	21
Obrázek 10 - Odtah spalin [24].....	22
Obrázek 11 - Elektrický zářič [25]	23
Obrázek 12 - Upevnění panelu [25].....	24
Obrázek 13 - Quartzový zářič [27]	25
Obrázek 14 - Schéma pro výpočet poměru osálení mezi obecně položenými plochami konečných rozměrů - Howell [31]	31
Obrázek 15 - Sálavé panely - Závislost intenzity osálení I na výšce zavěšení h pro.....	34
Obrázek 16 - Světlé plynové zářiče - Závislost intenzity osálení I na výšce zavěšení h pro	34
Obrázek 17 - Tmavé plynové zářiče - Závislost intenzity osálení I na výšce zavěšení h pro	35
Obrázek 18 - Sériové zapojení Sálavých panelů [33].....	38
Obrázek 19 - Tmavý plynový zářič typu U [34].....	39