

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN ZYGMONT

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KATOLICKÝ, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Zygmont

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Otopná tělesa.

v anglickém jazyce:

Heat radiators.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat souhrn používaných otopných těles a jejich rozdělení. Provést zhodnocení jejich použití otopných soustav.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je zpracovat souhrn používaných otopných těles, analýzu vlivu jednotlivých parametrů na jejich výkon a zhodnotit jejich využití v různých typech otopných soustav.

Seznam odborné literatury:

Bašta: Otopná tělesa, Sešit projektanta 5, Společnost pro techniku prostředí 2000

Bašta, Kabele: Otopné soustavy teplovodní, Společnost pro techniku prostředí 1998

BROŽ,K.: Vytápění, Skripta ČVUT 1998

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 21.10.2008

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V bakalářské práci je uveden přehled otopných těles, jejich rozdělení do čtyř základních skupin a popis jednotlivých těles. Rovněž jsou uvedeny základní charakteristiky jednotlivých těles a jejich chování v otopných soustavách. Práce se dále zabývá vlivem některých charakteristik otopných těles na jejich chování a uvádí výhody a nevýhody otopných těles.

ABSTRACT

The thesis gives an overview of heating elements, their division into four basic groups and a description of each body. Also listed are the essential characteristics of the individual elements and their behavior in the heating systems. This work also deals with the influence of certain characteristics of heating elements in their behavior and presents the advantages and disadvantages of heating elements.

KLÍČOVÁ SLOVA

Otopná tělesa, článkový otopná tělesa, desková otopná tělesa, trubková otopná tělesa, konvektory, tepelný výkon

KEYWORDS

Heat radiators, cast iron radiators, panel radiators, tube radiator, convectors, heat power

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZYGMONT, Martin. *Otopná tělesa: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 31.s.
Vedoucí práce Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma otopná tělesa vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

27. května 2009

.....

Martin Zygmont

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Katolickému, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	10
1 OTOPNÉ SOUSTAVY	11
2 PARAMETRY OTOPNÝCH TĚLES	12
2.1 GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY OTOPNÝCH TĚLES.....	12
2.2 TĚPELNÝ VÝKON.....	15
2.2.1 Mechanismy přenosu tepla.....	15
2.2.2 Tepelný výkon otopného tělesa.....	16
3 DRUHY OTOPNÝCH TĚLES	21
3.1 ČLÁNKOVÁ OTOPNÁ TĚLESA.....	21
3.1.1 Odlitky z šedé litiny.....	21
3.1.2 Výlisky z ocelových plechů.....	22
3.1.3 Tělesa ze slitin hliníku.....	23
3.2 DESKOVÁ OTOPNÁ TĚLESA.....	24
3.3 TRUBKOVÁ OTOPNÁ TĚLESA.....	26
3.4 KONVEKTORY.....	26
ZÁVĚR	29
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	30
SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	31

ÚVOD

Otopná tělesa jsou otopné plochy, jejichž úkolem je zajistit tepelnou rovnováhu ve vytápěném prostoru a tím vytvořit tepelnou pohodu.

Tepelnou pohodu ovlivňuje množství faktorů, např. teplota vzduchu, směr a rychlost proudění v místnosti, teplota okolních ploch, druh vykonávané činnosti, fyzická konstituce jedince a další. Je tedy vidět, že se jedná o souhrn mnoha faktorů, navíc závisících na subjektivním vnímání. Přesto lze vhodnou volbou a umístěním otopného tělesa dosáhnout toho, aby většina jedinců pociťovala tepelnou pohodu.

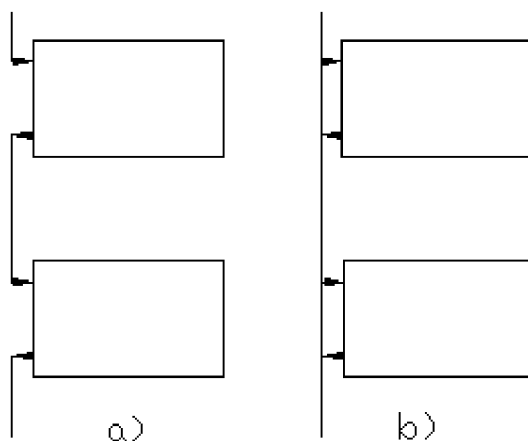
Pro zajištění tepelné rovnováhy se rovněž užívají lokální topidla a integrované otopné plochy. Lokální topidla přeměňují energii v teplo a toto předávají do vytápěné místnosti. Zdrojem energie mohou být tuhá, kapalná či plynná paliva nebo elektřina. Lokální topidlo však není otopným tělesem.

Integrované otopné plochy jsou na rozdíl od otopných těles přímo včleněny v prostoru. Nejčastěji jde o podlahové, stropní a stěnové otopné plochy.

Otopné těleso je tedy tepelným výměníkem, jehož úkolem je předat teplo z teplotné látky (voda, pára nebo vzduch) do okolí. Z hlediska sdílení tepla je pro otopná tělesa rozhodující konvekce a sálání. Podíl konvekční a sálavé složky do prostoru určuje, zda jde o převážně sálavé nebo převážně konvekční vytápění.

1 OTOPNÉ SOUSTAVY

Otopná tělesa jsou charakterizována řadou parametrů, které ovlivňují jejich výkon a vhodnost použití v různých otopných soustavách. Otopné soustavy se skládají ze zdroje tepla, rozvodné soustavy a otopných těles. Zdrojem tepla může být kotel na tuhá paliva, plynový kotel, tepelné čerpadlo nebo solární kolektor. Jako teponosná látka slouží voda, vzduch nebo pára. Z hlediska použití je teplovodní vytápění s teplotou vody do 95 °C nejrozšířenější, často používané je i vytápění teplovzdušné. Vytápění horkovodní a parní nacházejí uplatnění především v průmyslových objektech. Teponosná látka je od zdroje tepla distribuována rozvodnou soustavou do jednotlivých otopných těles. Rovněž rozvodné soustavy se vyskytují v různých modifikacích. Podle počtu trubek rozlišujeme teplovodní soustavy dvoutrubkové (ke každému otopnému tělesu je připojeno potrubí přívodní i vratné) a jednotrubkové. U jednotrubkové soustavy mohou být tělesa připojena průtočně obr. 1.a nebo v obtoku obr. 1.b, existují však i další možnosti pro napojení.



Obrázek 1: Napojení jednotrubkové soustavy

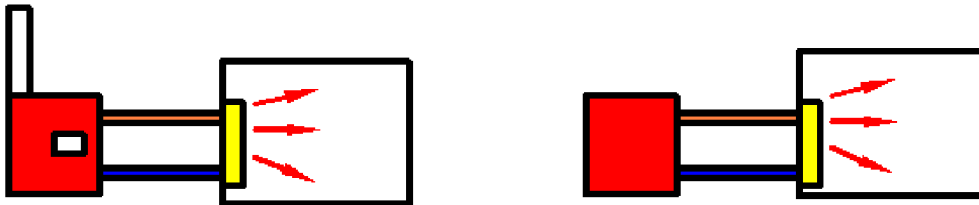
Podle zdroje tlakového spádu se soustavy dělí na soustavy s přirozeným oběhem, kdy zdrojem tlakového spádu je rozdíl hustot teplé přívodní vody a vody ochlazené, a soustavy s nuceným oběhem. Ve druhém případě je teponosná látka v soustavě hnána čerpadlem. Je patrné, že hmotnostní tok teponosné látky v soustavě s nuceným oběhem je vyšší než v soustavě s přirozeným oběhem. Proto se v soustavách s nuceným oběhem používají trubky menšího průměru. Vyšší hmotnostní tok soustavou také dovoluje snížit objem vody v celé soustavě a použít otopná tělesa s menším vodním obsahem. I reakční doba soustavy s nuceným oběhem je kratší, což vede k rychlejší regulaci. Soustavy s přirozeným oběhem se dnes používají v menší míře a jen tehdy, není-li soustava příliš rozlehlá. Většina soustav s přirozeným oběhem jsou soustavy dvoutrubkové. Z toho plyne, že jednotrubková soustava je i investičně méně nákladná, je však závislá na dodávce elektrické energie.

Významnou veličinou v otopných soustavách je teplotní spád závislý na použitém zdroji tepla. Běžný teplotní spád je 90/70 °C. Moderní zdroje tepla, jakými jsou tepelná čerpadla nebo solární kolektory se však neprovozují za tak vysokých teplot, neboť ztrácejí účinnost. Proto se používají i spády 70/50 °C a

dokonce 55/45 °C. Na příkladu si ukážeme důsledek různých teplotních spádů. Uvažujme tedy modelovou místnost se ztrátou 1 kW viz obr.2, jednou vytápěnou kotlem na tuhá paliva s teplotami 90/70 °C a podruhé tepelným čerpadlem s teplotním spádem 55/45°C. Výkon dodávaný do místnosti je v obou případech stejný, tedy $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$.

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 c \Delta t_1$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 c \Delta t_2 \quad (1)$$



Obrázek 2: Srovnání vlivu teplotních spádů

Rozdíl teplot $\Delta t_1 = 20$ °C a $\Delta t_2 = 10$ °C. Měrná tepelná kapacita vody $c_w = 4.18$ kJ/kg.K je pro oba případy stejná. Z uvedeného plyne, že při stejném tepelném toku je hmotnostní tok $\dot{m}_1 = 0.7$ kg/min a $\dot{m}_2 = 1.4$ kg/min.

Při použití menšího tepelného spádu je tedy nutné zvýšit hmotnostní tok.

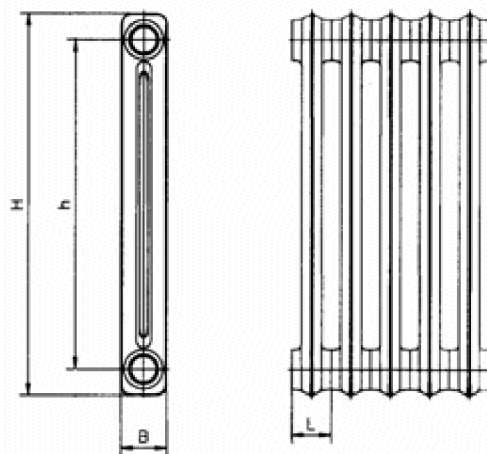
2 PARAMETRY OTOPNÝCH TĚLES

2.1 Geometrické charakteristiky otopných těles

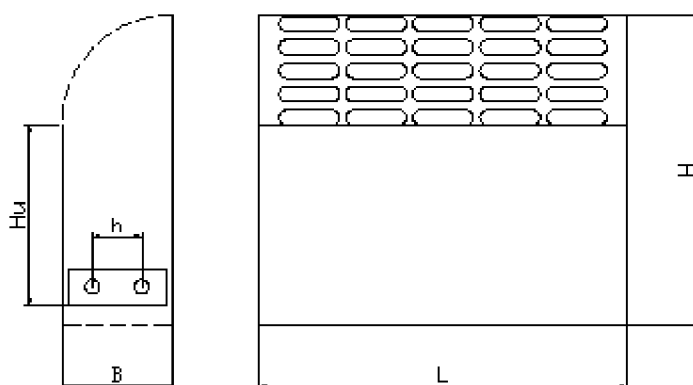
Každé otopné těleso je možné popsat pomocí rozměrů. Délka L je důležitá pro volbu otopného tělesa zohledňující tepelnou pohodu uživatele a měla by při umístění otopného tělesa pod okno dosahovat délky okna, neboť jen tak je možné zvrátit proud vzduchu ochlazovaného oknem, který omývá prostor pod oknem. Rozměry otopných těles jsou uvedeny na obrázcích 3, 4, 5 a 6. Rozměry otopných těles mají vliv na jejich výkon. Rozměry otopných těles:

- H celková výška [m]
svislá vzdálenost mezi nejnižší a nejvyšší umístěnou hranou tělesa
- H_u účinná výška [m]
svislá vzdálenost mezi nejnižší umístěnou hranou otopného článku a dolním okrajem výdechové mřížky konvektoru
- h připojovací rozteč [m]
vzdálenost os závitových otvorů pro přívodní a zpětné připojovací potrubí
- B hloubka [m]
je vzdálenost nej přednější a nejzadnější hrany tělesa v horizontální rovině kolmo na délku tělesa

- L délka [m]
vzdálenost levé a pravé hrany tělesa v horizontální rovině kolmo
na hloubku tělesa
- L' délka článku [m]
délka jednoho stavebního prvku měřená stejně jako délka tělesa



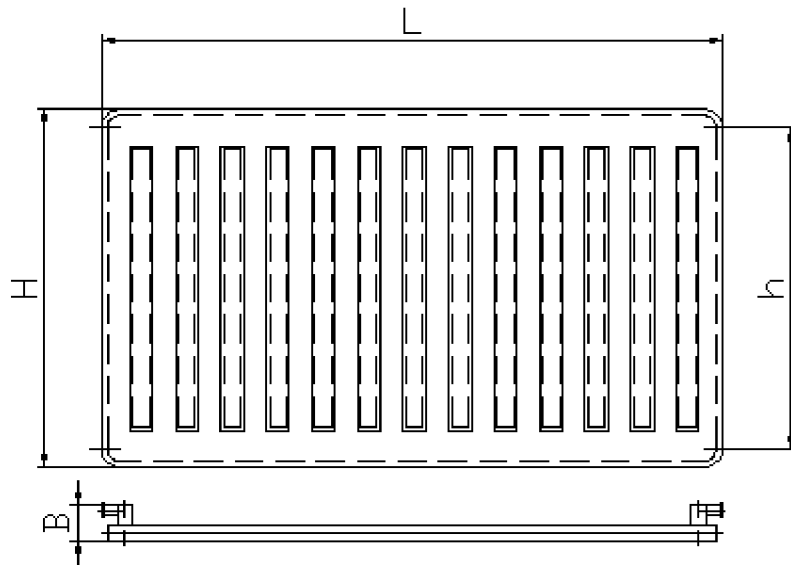
Obrázek 3: Článkové těleso [8]



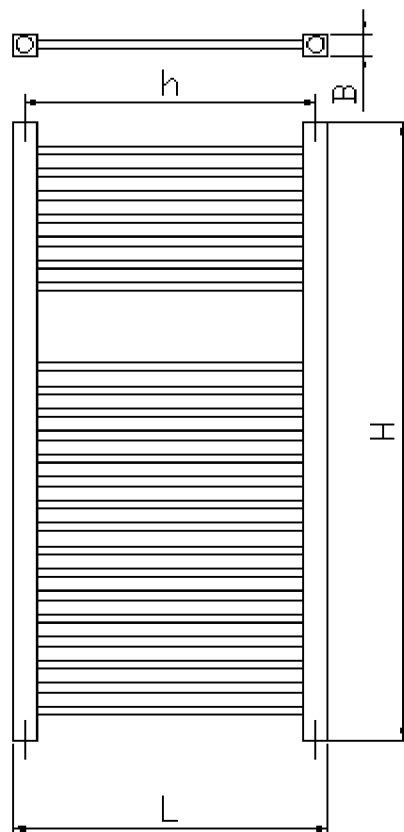
Obrázek 4: Konvektor

- S_L vnější přestupní plocha [m^2]
celková plocha ve styku se vzduchem
- S_w vnitřní přestupní plocha [m^2]
je určena celkovým povrchem omývaným teplotonosnou látkou
- Vnější přestupní plocha tělesa může být zvětšena pomocí různých žebér.
Poměr vnější přestupní plochy ku ploše vnitřní vyjadřuje tzv. součinitel rozšíření přestupní plochy:

$$\Phi = \frac{S_L}{S_w} \quad (2)$$



Obrázek 5: Deskové těleso



Obrázek 6: Trubkové těleso

V vodní obsah [m³]
objem dutin vnitřní strany tělesa

Vodní obsah má zcela zásadní vliv na tepelnou setrvačnost otopného tělesa. Pokud bychom uvažovali dvě otopná tělesa o různém objemu se stejnou teplotonosnou látkou tzn. látkou se stejnou měrnou tepelnou kapacitou c , která je definována jako množství tepla potřebné na ohřátí 1 kg látky o 1 K, pak je logické, že na ohřátí většího množství teplotonosné látky musíme dodat více tepla. Tepelná kapacita otopného tělesa C tedy vzrůstá s rostoucím objemem otopného tělesa. Větší tepelná kapacita má za následek pomalejší reakci otopného tělesa na regulační zásah a vyšší schopnost tělesa akumulovat energii. Tepelná kapacita samotného tělesa byla v této úvaze zanedbána, i když zvětšení vnitřního objemu tělesa by vedlo i ke zvýšení objemu samotného tělesa a tedy dalšímu nárůstu tepelné kapacity.

M hmotnost tělesa [kg]
zahrnuje hmotnost všech částí otopného tělesa, v případě článkového tělesa pak hmotnost jednoho článku

Hmotnost tělesa je nutné vzít v potaz při instalaci tělesa, neboť těleso o vyšší hmotnosti vyžaduje masivnější upevnění v důsledku čehož rostou náklady na instalaci. Vyšší hmotnost tělesa ze stejného materiálu také zvýší jeho tepelnou kapacitu a tím negativně ovlivní pružnost reakce soustavy.

2.2 Tepelný výkon

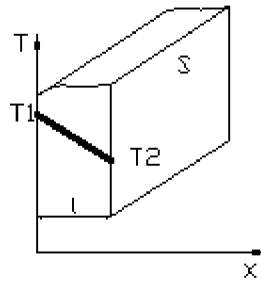
2.2.1 Mechanismy přenosu tepla

Otopné těleso slouží jako výměník tepla, jehož úkolem je předat teplo z teplotonosné látky okolí. Sdílení tepla se obecně děje třemi základními mechanismy, a to vedením, konvekcí a sáláním. U otopných těles se uplatňují všechny.

Vedení lze charakterizovat jako přenos tepla od částic s více energetických k méně energetickým částicím. Částicemi jsou myšleny molekuly (u kapalin a plynů) a atomy (u pevných látek). V pevných látkách se přenos tepla vedením děje pohybem atomů a volných elektronů. Proces vedení pevnou stěnou o ploše S a tloušťce l , kdy na jedné straně stěny je teplota T_1 a na druhé straně nižší teplota T_2 viz. obr.7 se popisuje Fourierovým zákonem:

$$q_x = \lambda \frac{T_1 - T_2}{l} \quad (3)$$

kde λ [W/m.K] je tepelná vodivost a je vlastností látky.



Obrázek 7: Vedení tepla stěnou

Konvekci tvoří jednak náhodný pohyb molekul a jednak z makroskopický pohyb molekul. Typicky dochází k přenosu tepla konvekci mezi proudící kapalinou a omezujícím povrchem, pokud mají rozdílnou teplotu. Konvekci popisuje Newtonův ochlazovací zákon:

$$\dot{q} = \alpha \cdot (T_w - T_\infty). \quad (4)$$

T_w je teplota povrchu obtékaného tělesa a T_∞ je teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu.

Zářením rozumíme emisi tepelné energie z povrchu o konečné teplotě. I pro popis záření můžeme použít Newtonův ochlazovací zákon. Předpokládáme malý povrch zcela obklopený velkým povrchem. Měrný tepelný tok pak nabývá tvaru:

$$\dot{q} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_0^4) \quad (5)$$

a lze jej nahradit

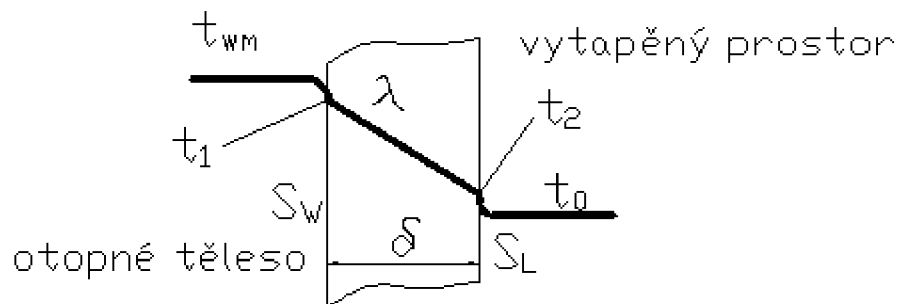
$$\dot{q} = \alpha_z \cdot (T_w - T_0) \quad (6)$$

kde α_z je součinitel přestupu tepla zářením.

Na straně vzduchu předávají otopná tělesa teplo zářením a konvekci. Pro dosažení tepelné pohody by bylo ideální, kdyby byl poměr sálání ku konvekci co nejvyšší. Ve skutečnosti dosahuje poměr tepla sdílený sáláním asi 5 až 50%.

2.2.2 Tepelný výkon otopného tělesa

Tepelným výkonem otopného tělesa rozumíme celkové množství tepla sdílené do okolí za jednotku času. Průběh teplot mezi teplonosnou látkou, stěnou otopného tělesa a vzduchem je naznačeno na obrázku 8. U otopných těles se udává tepelný modul tělesa, což je výkon tělesa vztahovaný k modulu tělesa. Modulem článkového tělesa je jeden článek, u ostatních těles pak jeden metr délky, v případě konvektoru jeden metr délky výměníku tepla. Tepelný modul tělesa se značí Q_M [W/m, W/článek] a umožňuje vypočítat výkon konkrétního tělesa o určité délce.



Obrázek 8: Průběh teplot otopného tělesa

Tepelný výkon také můžeme popsat jako tepelný tok přenášený teplotonosnou látkou ochlazující se v tělese:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_w \cdot c \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad (7)$$

nebo jako tepelný tok předávaný konvekcí z teplotonosné látky vnitřní stěně tělesa:

$$\dot{Q}_C = \alpha_w \cdot S_w \cdot (t_{wm} - t_1) \quad (8)$$

či jako tepelný tok vedený stěnou tělesa

$$\dot{Q}_C = \frac{\lambda}{\delta} \cdot S_m \cdot (t_1 - t_2) \quad (9)$$

nebo tepelný tok sdílený konvekcí a zářením do okolí

$$\dot{Q}_C = \alpha_k S_L (t_2 - t_0) + \alpha_z S_L (t_2 - t_u) \quad (10)$$

popřípadě jako tepelný tok prostupující stěnou otopného tělesa do okolního vzduchu:

$$\dot{Q}_C = k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_0) \quad (11)$$

Poslední uvedený vzorec zahrnuje tepelný výkon procházející stěnou tělesa a předávaný vzduchu sáláním a konvekcí. Významným faktorem je zde součinitel přestupu tepla k , který charakterizuje kvalitu přenosu tepla na obou stranách otopného tělesa a vedení tepla stěnou. Tepelný výkon tělesa je ovlivňován parametry uvedenými v rovnicích tepelného toku. Obecně můžeme říct, že vliv na výkon otopného tělesa má jeho konstrukce a provozní charakteristiky.

Tepelný výkon závisí na hmotnostním toku teplotonosnou látkou otopným tělesem. Na změně hmotnostního toku je založena regulace výkonu otopných těles v otopné soustavě, ať už se jedná o regulaci ruční nebo automatickou.

Jak už bylo zmíněno, rozměry otopného tělesa mají zásadní vliv na jeho výkon, neboť rozměry úzce souvisí s vnější přestupní plochou. Je patrné, že se zvětšováním vnější přestupní plochy poroste výkon tělesa, ať už roste délka tělesa, jeho hloubka nebo výška. Úpravy výkonu lze dosáhnout změnou teploty vody a je ovlivněn i teplotou v místnosti.

Pokud poroste rozdíl teplot vody a místnosti, poroste i výkon. Vysoká teplota otopného tělesa však nesplňuje požadavky na hygienu. Součinitel přestupu tepla na straně vody je závislý především na průtoku. Za jmenovité napojení se považuje napojení jednostranné shora dolů. Pokud těleso například

připojíme jednostranně zdola nahoru, sníží se v důsledku horšího zatékání vody do tělesa součinitel přestupu tepla a výkon klesne.

Výkon závisí i na tepelné vodivosti materiálu otopného tělesa a tloušťce stěny otopného tělesa, ale vzhledem k tomu, že tloušťka stěn otopného tělesa je několik milimetrů, není ovlivnění nějak markantní. Tepelná vodivost a výkon jsou přímo úměrné, s rostoucí tloušťkou materiálu naopak výkon klesá. Tepelná vodivost je obecně lepší u kovových materiálů, ale i mezi vodivostmi různých kovů jsou výrazné rozdíly. Výbornou tepelnou vodivost má měď i hliník, vodivost oceli a litiny je horší. Materiály s dobrou tepelnou vodivostí jsou v tomto ohledu vhodnější pro výrobu otopných těles. Tloušťka stěn je spíše otázkou technologie výroby. Opět je pro otopná tělesa vhodnější volit tenkostěnný materiál s ohledem na setrvačnost. Stěna však musí být dostatečně silná, aby otopné těleso odolalo tlaku teplotnosné látky v soustavě. S tloušťkou stěn souvisí i tepelná kapacita a hmotnost. V neposlední řadě je nutné uvažovat cenu materiálu a nákladnost výroby otopného tělesa. Cena gravitačně litého článkového tělesa z litiny bude určitě nižší než cena tlakově litého tělesa z hliníku, i když bude mít hliníkové těleso vyšší výkon.

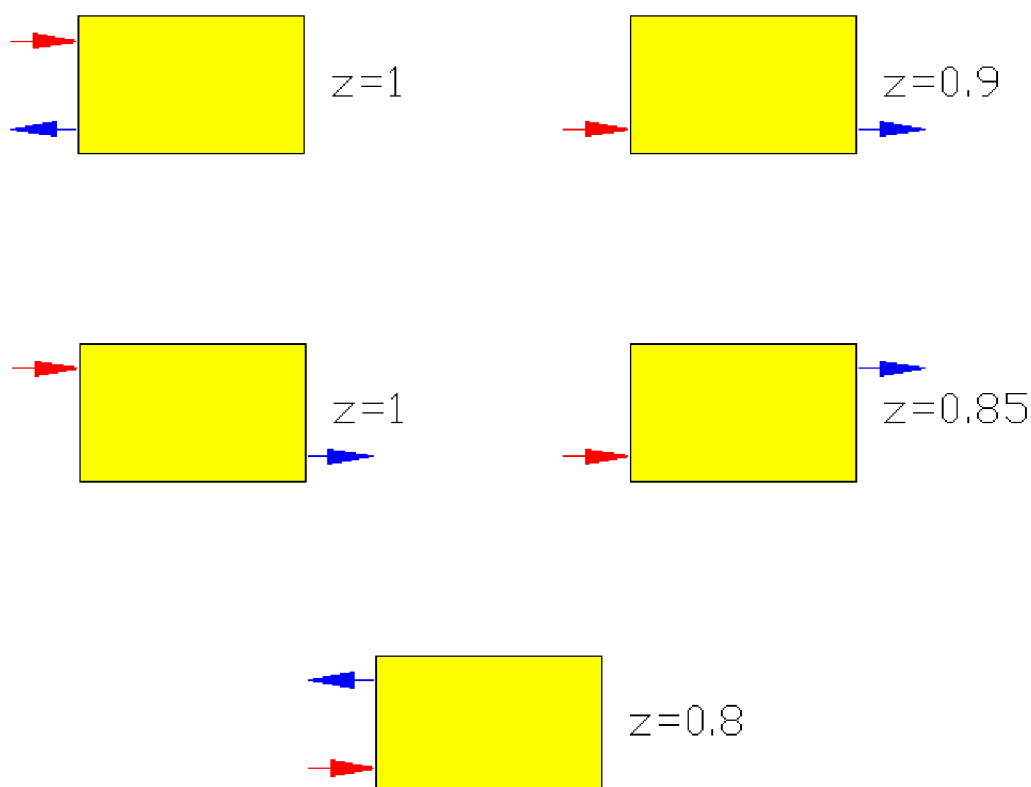
Tepelný výkon respektive tepelný modul otopného tělesa udávaný výrobcem je tzv. výkon jmenovitý. Ten byl určen ve zkušební laboratoři při určité délce tělesa, teplotě vstupní a výstupní teplotnosné látky i teplotě vzduchu a napojení tělesa. Abychom určili skutečný výkon konkrétního tělesa umístěného v konkrétním prostoru, musíme zahrnout vliv veličin jako je například délka tělesa do výpočtu. Děje se tak pomocí opravných součinitelů. Vliv prvků zahrnutých v jednotlivých opravných součinitelích je tedy nutno považovat za další parametry působící změnu výkonu otopného tělesa. Skutečný výkon otopného tělesa se určí:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_n \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3 \cdot z_4 \cdot z_5 \quad (12)$$

Přičemž \dot{Q}_n je výkon nominální. Součinitelé z_1 až z_5 se učí následujícím způsobem:

Opravný součinitel připojení tělesa z_1

Za jmenovité připojení tělesa se považuje jednostranné připojení shora dolů. To značí, že přívod teplé vody je na nahoře a odvod vody z tělesa na stejné straně otopného tělesa dole. Teplá voda se pak v tělese ochlazuje, zvyšuje svou hustotu a klesá do spodní části tělesa, ze které je odváděna mimo těleso. V takovém případě je součinitel z_1 roven jedné. Pokud má těleso vstup i výstup dole, bude voda hůře zatékat do tělesa a sníží se součinitel přestupu tepla z vody na stěnu otopného tělesa. V případě jednostranného napojení zdola nahoru bude zatékání ještě horší. Výkon tělesa tedy závisí na způsobu napojení. Ten se podílí na poklesu výkonu až o 20% při nejméně vhodném způsobu napojení jednostranně zdola nahoru. Součinitel připojení tělesa pro různé případy ukazuje následující obrázek:



Obrázek 9: Napojení otopných těles

Opravný součinitel na teplotní rozdíl z_2

Výkon závisí na teplotních podmínkách, za kterých je otopné těleso provozováno. Pro jiné podmínky, tzn. pro jinou teplotu vstupní a výstupní vody a vzduchu ve vytápěném prostoru, než byly použity při měření je třeba upravit výkon součinitelem na teplotní rozdíl.

$$z_2 = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right)^n \quad (13)$$

$$\text{pro } \frac{t_{w2} - t_D}{t_{w1} - t_D} \geq 0.7 \text{ pak } \Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_D \quad (14)$$

$$\text{pro } \frac{t_{w2} - t_D}{t_{w1} - t_D} < 0.7 \text{ je } \Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_D}{t_{w2} - t_D}} \quad (15)$$

kdy $\Delta t_n = 60$

t_{w1} je teplota vstupní vody [°C]

t_{w2} je teplota výstupní vody [°C]

t_D je teplota vzduchu [°C]

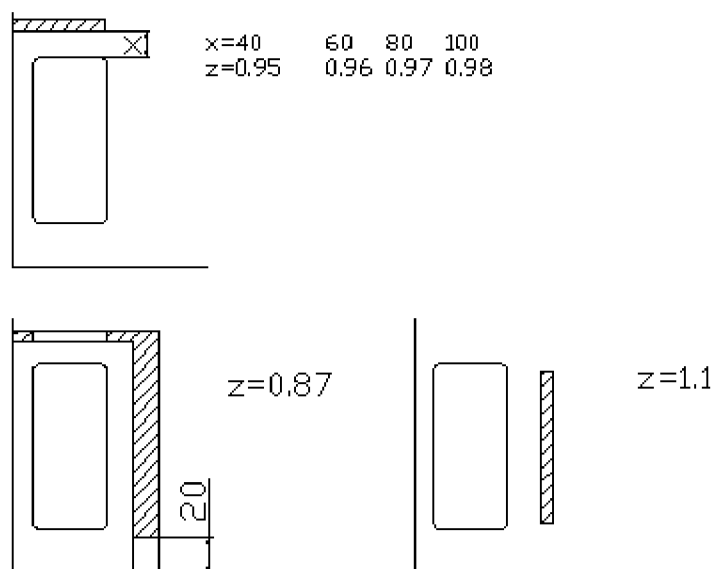
n je pro článková a desková tělesa 0,33

trubková tělesa 0,25

konvektory 0,25 – 0,4

Součinitel zákrytu tělesa z_3

Zákryt tělesa působí na výkon předávaný okolnímu vzduchu. Sálavá složka je zákrytem pohlcována. Čím více je těleso zakryto, tím větší část záření je zákrytem pohlcena. Zákryt také ovlivňuje proudění vzduchu kolem tělesa. Parapet umístěný nad těleso tak zhorší obtékání tělesa a tím sníží jeho výkon, naopak přední krycí panel funguje podobně jako šachta konvektoru a zvyšuje výkon tělesa. Příklady součinitele zákrytu těles jsou na obrázku 10.



Obrázek 10: Součinitel zákrytu

Součinitel na počet článků z_4

U článkových těles se výkon měří na tělese o deseti člancích. Výkon jednoho článku je pak vypočten jako aritmetický průměr výkonu na jeden článek. Pokud má dané těleso méně než deset článků, jeho výkon se zvyšuje, protože třecí ztráty jsou menší než u zkušebního deseti článkového tělesa. Naopak u těles z většího počtu článků výkon klesá v důsledku vyšších třecích ztrát.

Tabulka 1: Součinitel na počet článků

počet článků	2	3	4	5	6	7-11	12-14	15-18	19-25
z	1.04	1.04	1.03	1.02	1.01	1.0	0.99	0.98	0.97

Součinitel na umístění tělesa v prostoru z_5

Tento součinitel bere v potaz proudění ve vytápěné místnosti a chladné proudy klesající od okna. Pokud je otopné těleso umístěno přímo pod oknem je roven jedné. Pokud je těleso umístěno u vnitřní stěny kolmé na stěnu s oknem, nabývá hodnoty 0.95 a při instalaci tělesa u stěny protilehlé stěně s oknem 0.9.

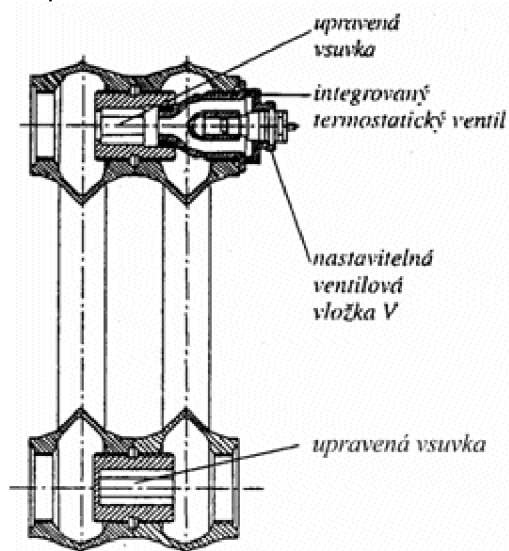
3 DRUHY OTOPNÝCH TĚLES

3.1 Článková otopná tělesa

Jsou OT složená z jednotlivých článků. Články jsou vzájemně složeny do souprav. Materiálem článků bývá nejčastěji ocel, litina, slitiny hliníku a plasty.

Spojování článků do souprav se provádí buď závitovými vsuvkami s pravým a levým závitem, svařováním nebo lepením.

Článek je tvořen horní a dolní komorou s náboji opatřenými závitem ve stejné ose. Tyto komory jsou spojeny přestupní plochou. Hloubka článku B je větší než jeho šířka a vnější přestupní plocha je rozložena převážně do hloubky článku. V důsledku toho je 70 až 85% tepla sdíleno konvekcí. Velký podíl konvekce má za následek výrazný gradient teplot ve vytápěném prostoru ve svislém směru. Vnitřní uspořádání článkového tělesa ukazuje obrázek 11.



Obrázek 11: Řez článkovým tělesem s integrovaným ventilem [8]

3.1.1 Odlitky z šedé litiny

Vyrábějí se z litiny s lupínkovým grafitem dle ISO 185. Tloušťka stěny OT, která je v přímém kontaktu s teplonosnou látkou nesmí být menší než 2.5mm.

Rozlišujeme tělesa s přímou přestupní plochou, kde součinitel rozšíření přestupní plochy $\phi=1$ až 2, a s rozšířenou přestupní plochou, kde součinitel rozšíření přestupní plochy $\phi > 2$. Ve druhé skupině je přestupní plocha rozšířena žebry spojitých tvarů nebo nálitky na sloupcích.

Výhody:

- vysoká životnost
- malé tlakové ztráty

Nevýhody:

- vyšší hmotnost
- velký obsah teplonosné látky
- pomalejší odezva při regulaci
- vyšší tloušťka stěny

Článeková tělesa obecně mají velký teplotní modul. To je dáno rozložením článku do prostoru a tedy velkou přestupní plochou na jednotku délky tělesa. Při dnešní technologii stavby budov a trendu zateplování jsou ztráty jednotlivých místností relativně malé. Na jejich pokrytí stačí menší výkon otopného tělesa. Vzhledem k velkému tepelnému modulu pak pro vytápění postačí těleso s několika články. To se však neshoduje se snahou dosáhnout tepelného komfortu umístěním otopného tělesa pod celou délku okna. Vzhledem k vysoké hmotnosti a velkému vodnímu obsahu se nehodí ani pro moderní regulační systémy. Uplatnění mohou najít ve starších nezateplených budovách, které mají velké ztráty, popřípadě u otopných soustav s kotli na tuhá paliva, jenž neumožňují pružný zátop. V takovém případě se dá velká setrvačnost považovat za výhodu, neboť teplo je distribuováno dlouho po odstavení kotle a kryje vyšší ztráty.

3.1.2 Výlisky z ocelových plechů

Materiálem pro výlisky je ocelový plech s nízkým obsahem uhlíku. Článek je svařen ze dvou výlisků, které tvoří horní a spodní komoru. Komory jsou spojeny otopnou plochou s prolisy ve tvaru kanálů.

Články jsou v místě náboje opatřeny plochou ve tvaru mezikruží, která slouží ke spojování jednotlivých článků svařováním do souprav nebo k přivaření nátrubků se závitem. Soupravy s 3, 4, 5, 7 a 10 články se spojují vsuvkami. Přestupní plocha může být rozšířená nebo přímá. Tloušťka stěny ve styku s teplonosnou látkou nesmí být menší než 1.11 mm.

Výhody:

- malé tlakové ztráty
- tenká stěna

Nevýhody:

- velký obsah teplonosné látky
- pomalejší odezva při regulaci

Velký tepelný modul je stejně jako u litinových otopných těles v moderních stavbách nežádoucí. Výhodou výlisků z ocelového plechu je nižší hmotnost než u litinových těles, naopak životnost je kratší. Použití je stejné jako v případě těles litinových.

3.1.3 Tělesa ze slitin hliníku

Jsou vyráběna jako odlitky nebo výtažky. V případě odlitků je materiálem hliníková slitina AlSi9Cu s minimální tloušťkou stěny ve styku s teplonosnou látkou 1.5 mm. Materiálem pro tělesa z taženého hliníku je tvárná slitina hliníku EN AW-6060 dle EN 573-3. Minimální tloušťka stěn ve styku s teplonosnou látkou je 1.1 mm. Otopná tělesa ze slitin hliníku mají vždy rozšířenou přestupní plochu. Žebra jsou buď vertikální nebo skloněná, jak ukazuje obrázek 13. Celé těleso je pak na obrázku 12.

Nebezpečné je použití měděných trubek v kombinaci s hliníkovými otopnými tělesy. To vede ke vzniku elektro-chemického článku a vývoji koroze. Výhody:

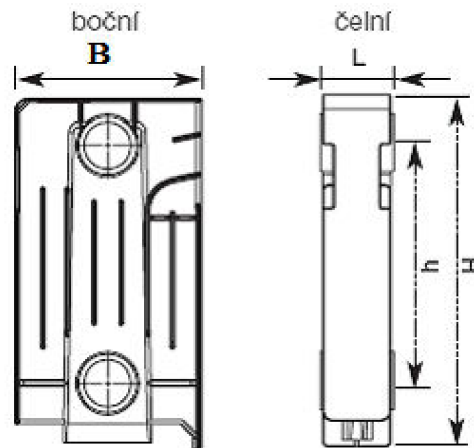
- vysoká životnost
- malé tlakové ztráty
- dobrá tepelná vodivost
- estetický vzhled

Nevýhody:

- velký obsah teplonosné látky
- pomalejší odezva při regulaci
- možnost výskytu elektro-chemické koroze



Obrázek 12: Hliníkové otopné těleso [12]



Obrázek 13: Článek hliníkového otopného tělesa [12]

Hliníková otopná tělesa mají výbornou tepelnou vodivost, dobře odolávají vodnímu prostředí, mají nízkou hmotnost.

3.2 Desková otopná tělesa

Jedná se o tělesa tvořená souvislými hladkými deskami. Povrch může být zvětšen zvlněním nebo přidáním konvekčních plechů. Těleso je vyrobeno ze dvou ocelových plechů s prolisy, které tvoří horní rozvodnou komoru, dolní sběrnou komoru a kanály. Plechy o tloušťce 1,25 až 1,3 mm jsou po obvodě švově svařeny, mezi jednotlivými kanály jsou pak svary bodové. Dalšími materiály pro výrobu deskových otopných těles jsou slitiny hliníku, plasty ale i litina.

K připojení těles slouží osový nebo boční výstup se závitem, popřípadě mají tělesa přímo zabudovaný ventil.

Podle počtu desek dělíme tělesa na jednoduchá, zdvojená a ztrojená. Pokud mají tělesa konvekční plechy, jedná se o tělesa s rozšířenou přestupní plochou.

Použití rozšířené přestupní plocha má za následek snížení podílu tepla sdíleného sáláním a zvýšení konvekce. Rozšířená přestupní plocha je tvořena ocelovým plechem o tloušťce 0,5 mm se soustavou žeber. Původně se konvekční plech bodově přivařoval k desce mezi kanály, dnes se připojuje na povrch kanálů, čímž se dosahuje nárůstu výkonu až o 15%. Připojování dalších desek a konvekčních plechů se dělo ve snaze přiblížit tepelný modul deskových těles tělesům článkovým.

Ve srovnání s článkovými tělesy mají desková otopná tělesa malý obsah teplonosné látky, takže rychleji reagují na regulaci a vyšší podíl tepla sdíleného sáláním vede k většímu teplotnímu komfortu. Rovněž jsou lehčí.

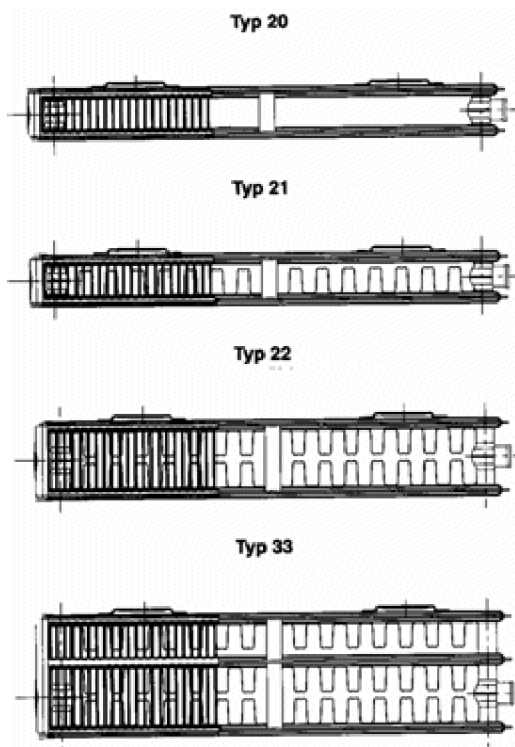
Pro desková tělesa se ustálilo číselné označování, které udává počet desek a počet konvekčních plechů ve formě Typ xy, kde x je počet desek a y počet konvekčních plechů. Některé typy deskových těles jsou na obrázku 14.

Vyskytují se i desková tělesa s přívodem studeného venkovního vzduchu. Toto řešení však není příliš rozšířeno, neboť vyžaduje speciální připojovací armaturu. Desková tělesa bývají shora zakryta výdechovou mřížkou a z boku bočnicí. Připojují se na rozvodné potrubí z pravé nebo levé boční strany, z pravé, levé nebo střední spodní strany. S tělesy se dodává speciální upevňovací sada.

Výhody:

- malý vodní obsah
- pružná reakce na regulaci
- malá hmotnost

Desková tělesa mají menší modul a větší podíl tepla sdíleného sáláním. Malý vodní obsah umožňuje pružnou reakci na regulační zásah, menší tepelný modul dovoluje i v budovách s malými ztrátami použít těleso s délkou shodnou s oknem. Desková tělesa bývají vybavena připojovací armaturou ve všech čtyřech rozích. Malá hmotnost neklade velké nároky na upevnění a cenově jsou velmi příznivá.



Obrázek 14: Typy deskových těles [8]

3.3 Trubková otopná tělesa

Základem trubkových otopných těles jsou trubky uspořádané ve tvaru:

- meandru
- registru se svislými trubkami
- registru s vodorovnými trubkami

Přestupní plocha může být rozšířena buď podélnými žebry, žebry ve tvaru desky s prolisy a prostřihy nebo příčnými žebry. Žebra se k trubkám připojují svařováním, pájením a nebo mechanicky, například lisováním. V případě mechanického spojení rozšířené přestupní plochy a trubek z různých materiálů hrozí nebezpečí postupného uvolnění žebra v důsledku rozdílné délkové roztažnosti. Nejpoužívanějším materiálem pro trubková otopná tělesa je ocel a měď, žebra se pak vyrábějí z ocelového plechu, mědi a hliníku.

Registr se skládá z rozvodné a sběrné komory a menších spojovacích trubek. U registru s vodorovnými trubkami je nutné pro optimální využití přestupní plochy usměrnit průtok teplotnosné látky. To se děje buď vnitřními přepážkami nebo vhodným napojením. Velmi rozšířeným typem trubkových otopných těles jsou tzv. koupelnové žebříky.

Jedná se vlastně o registry s vodorovnými trubkami jejichž vzhled bývá často vylepšen různým tvarováním či prohnutím trubek. Koupelnové žebříky slouží krom vytápění i jako sušáky pro ručníky. Pro větší variabilitu jsou obvykle vybaveny vývodkami ve všech čtyřech rozích.

Někteří výrobci nabízejí koupelnová trubková tělesa doplněná topným tělesem. To umožňuje zapojit topné i mimo topnou sezónu, pokud je spojeno s otopnou soustavou. Hladká trubková tělesa mají malý teplotní modul. To je předurčuje k použití v málo energeticky náročných místnostech jako jsou koupelny, toalety nebo chodby.

Výhody:

- malé tlakové ztráty
- estetický vzhled

Nevýhody:

- malý teplotní modul

3.4 Konvektory

Jedná se o uzavřenou plechovou skříň, ve které je umístěn výměník tepla. Skříň je v horní části opatřena výdechovou mřížkou. Převážná část tepla je u konvektoru sdílána konvekcí. Tepelný výkon závisí na výšce skříně a na velikosti výměníku.

Podle proudění ohřívaného vzduchu rozlišujeme konvektory s:

- přirozeným prouděním vzduchu
- nuceným prouděním pomocí ventilátoru

Dále lze dělit konvektory podle umístění otopného článku na konvektory:

- skříňové (obrázek 15.a)
- soklové (obrázek 15.b)
- zapuštěné (obrázek 15.c)

Zapuštěné konvektory mají skříň jako součást stavby a jsou umístěny v podlaze, ve zdi nebo ve stropě. Podlahové konvektory se často kombinují s podlahovým vytápěním a umísťují se pod okna, aby zvrátily nepříznivé proudění, kdy je prostor pod oknem ofukován chladným padajícím proudem od okna. Vzhledem k jejich malému tepelnému výkonu se obvykle doplňují ventilátorem (obrázek 15), který zvyšuje průtok vzduchu konvektrem. Soklové konvektory mají nízkou skříň a bývají umístěny u podlahy.

Skříň konvektoru by měla mít co nejmenší odpor vůči proudění vzduch a měla by těsně přiléhat k výměníku tepla, aby nedocházelo k jeho obtékání. Účinná výška skříně H_u (obr. 4) ovlivňuje velikost přirozeného vztlaku Δp_p , na kterém závisí objemový průtok vzduchu i výkon konvektoru.

$$\Delta p_p = H_u \cdot g \cdot (\rho_i - \rho_s) \quad (16)$$

H_u účinná výška konvektoru [m]

g tíhové zrychlení [m/s^2]

ρ_s průměrná hustota vzduch uvnitř skříně [kg/m^3]

ρ_i průměrná hustota vzduch vně skříně [kg/m^3]

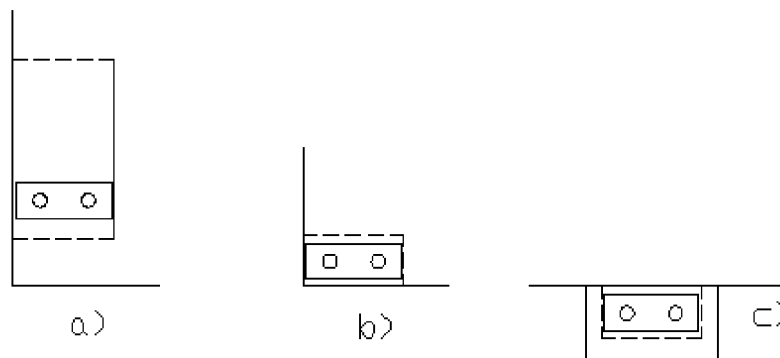
Skříň konvektoru může být samostatná, dodávaná i s otopným článkem, dělená, jejíž přední část tvoří krycí deska, nebo přímo součástí stavby. Skříň se vyrábí z hliníkového či ocelového plechu a měla by umožnit snadný přístup k výměníku tepla, který se v důsledku výrazné cirkulace vzduchu zanášá prachem. Samostatná skříň by měla mít i estetický vzhled.

Výměník tepla předává teplo z teplotnosné látky do okolí přes vzduch proudící konvektorem. Teplotnosná látka proudí trubkami různého průřezu, které jsou uspořádané do registrů nebo hadů. Trubky se vyrábějí z mědi, která nahrazuje dříve používané trubky ocelové. Na trubky jsou upevněna žebra. Ta jsou v případě měděných trubek hliníková, u ocelových trubek se používala žebra z ocelového plechu nebo hliníku.

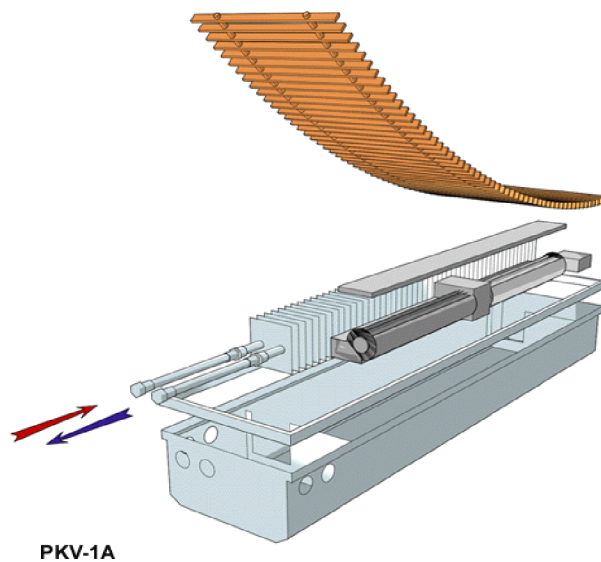
Jedním z nejdůležitějších vlivů na přenos tepla z trubek na žebra je jejich spojení. Je žádoucí, aby mezi trubkou a žebrem nebyla vzduchová mezera. Proto je výhodnější pevné spojení pájením, lepením nebo svařováním. Vzhledem k rozdílným materiálům žebek a trubek může u mechanického spojení docházet ke zvětšování vzduchové mezery v důsledku různé délkové roztažnosti použitých materiálů.

Plech lamely může tvořit kolem trubky límec stejné, větší nebo menší délky než je mezera mezi lamelami. U žebek s trvalým kovovým stykem nemá

délka límce vliv, neboť rozhodující z hlediska termické účinnosti je teplota na patě žebra.



Obrázek 15: Typy konvektorů



Obrázek 16: Podlahový konvektor s ventilátorem [11]

ZÁVĚR

Výkon otopných těles je ovlivněn konstrukcí a provozními parametry. Konstrukcí rozumíme jednak rozměry otopného tělesa, tzn. výšku, délku a hloubku. Se zvětšováním kteréhokoli rozměru roste výkon v důsledku růstu přestupní plochy. Dalším konstrukčním vlivem je součinitel rozšíření přestupní plochy. Větší rozšíření přestupní plochy způsobí, že se styčná plocha se vzduchem zvětší. V neposlední řadě má z konstrukčních faktorů vliv materiálu, především jeho tepelná vodivost a tloušťka stěn.

Provozními parametry jsou teplota teplotnosné látky a místností, hmotnostní tok teplotnosné látky tělesem, způsob připojení a umístění otopného tělesa. S rostoucím rozdílem mezi teplotou teplotnosné látky a místností rovněž roste výkon. Hmotnostní tok teplotnosné látky otopným tělesem také ovlivňuje výkon. Způsob připojení ovlivňuje součinitel přestupu tepla na straně vody. Obecně je vhodnější připojení shora dolů, ať už jednostranné či oboustranné. Umístění zákrytu vždy sníží množství tepla sdíleného sáláním, může však působit komínový efekt a tím celkový výkon těles zvýšit.

Otopná tělesa rozlišujeme článková, desková, trubková a konvektory. Jednotlivé typy pak dále dělíme podle materiálu, rozšíření přestupní plochy, počtu desek a konvekčních plechů či podle uspořádání trubek. Článková tělesa se vyznačují velkým teplotním modulem i vodním obsahem a pro moderní budovy a regulační systémy s příliš nehodí. Naopak desková tělesa splňují požadavky na malou setrvačnost, velký podíl tepla sdílený sáláním a menší modul. Umožňují všechny typy napojení a použití v jedno i dvou trubkové soustavě, s nuceným i přirozeným oběhem. Trubková otopná tělesa se hodí spíše jako doplňkový zdroj tepla do míst s malou tepelnou ztrátou či s menším požadavkem na teplotu jako jsou chodby, toalety atd.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BAŠTA, Jiří. Otopná tělesa – sešit projektanta 5. České Budějovice: Společnost pro techniku prostředí, 2000. 210 s. ISBN 80-02-01351-4
- [2] PAVELEK, Milan a kol. Termomechanika. Vyd.3. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN 80-214-2409-5
- [3] BAŠTA, Jiří. Tepelná pohoda prostředí ve vztahu k návrhu otopných ploch. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2004. 27 s. ISBN 80-01-02999-9
- [4] BAŠTA, Jiří. Regulace vytápění. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2002. 99 s. ISBN 80-01-02582-9
- [5] BAŠTA, Jiří a kol. Výkresová dokumentace ve vytápění – sešit projektanta 2. České Budějovice: Společnost pro techniku prostředí, 1999. 40 s. ISBN 80-02-01286-0
- [6] BAŠTA, Jiří, VAVŘIČKA, Roman. Charakteristiky otopných těles [on-line]. Vydáno 2006. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3060>.
- [7] BAŠTA, Jiří, VAVŘIČKA, Roman. Druhy otopných těles [on-line]. Vydáno 2006. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3064>.
- [8] BAŠTA, Jiří. Navrhování otopných těles [on-line]. Vydáno 2006. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3101>.
- [9] BAŠTA, Jiří. Přepočet tepelného výkonu [on-line]. Vydáno 2006. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3052>.
- [10] BAŠTA, Jiří. Teplotechnické chování otopné plochy a pohoda prostředí [on-line]. Vydáno 2006. Dostupné z: <http://www.tzb-nfo.cz/t.py?t=2&i=3192>.
- [11] www stránky: <http://www.volny.cz/pedothermb/index.htm>
- [12] www stránky: <http://www.lipovica.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Veličina	Symbol	Jednotka
Hloubka	B	m
Tepelná kapacita	C	J.K ⁻¹
Měrná tepelná kapacita	c	J.kg ⁻¹ K ⁻¹
Gravitační zrychlení	g	m.s ⁻²
Výška	H, h	m
Součinitel prostupu tepla	k	W.m ⁻² K ⁻¹
Délka	L	m
Hmotnost	M	kg
Tlak	p	Pa
Tepelný modul	Q_M	W.m ⁻¹ , W.čl. ⁻¹
Povrch	S	m ²
Teplota	T, t	K, °C
Objem	V	m ³
Hmotnostní tok	\dot{m}	kg.s ⁻¹
Výkon	\dot{Q}	W
Měrný výkon	\dot{q}	W.m ⁻²
Součinitel přestupu tepla	α	W.m ⁻² .K ⁻¹
Tloušťka	δ	m
Rozšíření přestupní plochy	ϕ	-
Tepelná vodivost	λ	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Hustota	ρ	kg.m ⁻³
Stefan-Boltzmannova konstanta	σ	W.m ⁻² .K ⁻⁴