ELEKTRICKÉ VYTÁPĚNÍ

1. ÚVOD

Elektřina, tak jako ve většině ostatních zemí ,bude pro vytápění využívána zejména v oblastech příměstských a venkovských tam , kde není zaveden CZT a plyn a pro svoji absolutní ekologickou čistotu v místě spotřeb má svoji nezastupitelnou úlohu, např. v nevětraných kotlinách a horských oblastech.

Správně navržený systém přímotopného vytápění má nejnižší ztráty , je nejlépe a nejrychleji regulovatelný a má nejmenší instalovaný příkon , ale zatěžuje síť po dobu až 20 hodin. Akumulační systémy naopak mají příkon 2 až 3 krát vyšší, ale doba provozu je pouze 8 hodin denně. Nejvýhodnější jsou proto kombinované systémy.

Limitujícím faktorem musí být vyhovující tepelně izolační vlastnosti vytápěných objektů. A právě tepelně technické vlastnosti zejména stávajících budov většinou nevyhovují využívání tak ušlechtilé energie.

V ČR bylo v roce 1999 bylo plně elektrifikovaných odběrných míst 353 870 tj. 8%. Z makroekonomického hlediska číslo relativně malé. Celkem odebraných 5,452 GWh představuje 24,4 % veškerého odběru ze sítí nn. Průměrná spotřeba na jedno plně elektrifikované odběrné místo dosáhla 15 406 kWh.

Tato fakta ukazují, že i když jsme za vrcholem křivky počtu připojovaných přímotopů, musí být rozvoj vytápění a přípravy teplé vody elektřinou usměrňován a řízen. Jako nejoptimálnější se ukazuje cesta vzájemného doplňování přímotopných a akumulačních systému tak , aby rozvodná síť byla využita efektivně po celých 24 hodin.

Na základě již uvedených údajů je možné uvažovat s 10% domácností a rekreačních objektů , které k vytápění a přípravě TUV použijí elektřinu. Je zde proto prostor pro cca 60 000 nových uživatelů vytápění elektřinou. Vzhledem k uvažovaným cenovým úpravám energií dojde k poklesu zájmů o elektrické vytápění, které bude vždy o něco dražší než li ostatní topná média, ale komfortnější.

Jednotlivé evropské země sledují v oblasti vytápění elektřinou rozdílné cíle. Ty vycházejí především z odlišné struktury prvotních energetických zdrojů.

Obecně lze konstatovat, že elektrické vytápění se nepropaguje tam, kde mají na výrobě elektřiny značný podíl ropné produkty a zemní plyn. Naopak tam, kde se rozvíjí jaderná energetika nebo mezi prvotními energetickými zdroji zaujímá vysoký podíl uhlí, je v určitých oblastech výhodné nahradit vytápění uhlím elektřinou. Základní vliv na rozvoj elektrického vytápění má též tvar elektrizační soustavy a jeho obměňování. Řízení odběru elektřiny pro topné účely sem pak váže buď na akumulační spotřebiče nebo přerušování dodávky v době energetických špiček. Podmínkou úspěšného a hlavně pružného řízení odběru je všeobecně systém HDO. Dalším nezanedbatelným faktem jsou požadavky na konstrukci topných systémů.

Dosud provedená měření ukazují, že používá-li se poloakumulační vytápění (s důsledně uplatněnou automatickou regulací) náklady se sníží o 10 až 25 % proti vytápění přímotopnému.

Nabízí se celá řada dalších možností a způsobu efektivního využití elektřiny. Přechod na ekologický způsob vytápění měl a má pro životní prostředí veliký význam. Je totiž řada velice účinných možností jak šetrně elektrickou energií využít i pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody.

1.1 Problematika tepelné pohody člověka v místnosti

Hlavním úkolem vytápění je zajistit v uzavřených místnostech příznivé tepelné poměry v chladném zimním období, kdy je venkovní teplota nižší než požadovaná teplota v místnostech a kdy také ostatní povětrnostní vlivy (např. vítr) způsobují ochlazování místností. Jde o zajištění tzv. **tepelné pohody**. To znamená, že musí být dosaženo takových tepelných poměrů, aby se člověk cítil příjemně.

Tepelnou pohodu člověka ovlivňuje jeho zdravotní stav, stáří, druh činnosti, kterou vykonává. Pocit dobré tepelné pohody je v podstatě dán rovnováhou tepelného režimu člověka, nutnou k udržení stálé teploty těla 37 °C. Důležitou složkou tepelného režimu člověka je sdílení tepla z povrchu těla do okolí, které se řídí přesnými fyzikálními zákony, a lze je proto vyjádřit matematicky.

Při látkových přeměnách probíhajících v lidském těle se uvolňuje určité množství tepla, které závisí především na intenzitě fyzické námahy a na hmotnosti člověka. Toto teplo musí být odváděno do okolí. Tepelná rovnováha, tj. stav, při kterém okolí odebírá lidskému tělu tolik tepla, kolik člověk právě produkuje, je proto prvním a nezbytným předpokladem tepelné pohody. Lidské tělo je ochlazováno vedením, prouděním, sáláním a kromě toho také vypařováním potu a dýcháním. Při malé fyzické námaze je větší část tepla z povrchu těla odváděna prouděním a sáláním – suché ochlazování těla.

Dosažení tepelné rovnováhy při suchém ochlazování, bez nadměrného pocení, je druhým předpokladem tepelné pohody člověka.

Jestliže stoupne teplota okolí nad určitou hranici nebo se zvětší produkce tepla při fyzické námaze, nedostačuje suché ochlazování a pro zajištění tepelné rovnováhy se nadbytečné teplo odvádí vypařováním – mokré ochlazování těla.

Podmínku tepelné rovnováhy lze obecně vyjádřit takto:

$$Q_M = Q_V + Q_D + Q_K + Q_S \ (w) \qquad (1.1)$$

V rovnici (1.1) je:

Q_M ..... teplo vyprodukované lidským tělem
Q_V ..... teplo odváděné vypařováním
Q_D ..... teplo odváděné dýcháním
Q_K ..... teplo odváděné konvekcí (prouděním)
Q_S ..... teplo odváděné sáláním

Tepelný tok konvekcí a sáláním prochází nejprve vrstvou oděvu, je jím veden, teprve na vnějším povrchu dochází k přestupu tepla do okolí. Rovnice tepelné rovnováhy pak přejde na tvar:

$$Q_M - Q_V - Q_D = t \cdot S \cdot (t_h - t_r) = Q_K + Q_S \ (w) \qquad (1.2)$$

kde je:

τ ..... propustnost oděvu ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
S ..... celková plocha povrchu těla
t_h ..... teplota povrchu těla
t_r ..... teplota povrchu oděvu

1.1.1 Tepelný stav prostředí

O tepelných pocitech člověka v uzavřených místnostech rozhoduje tedy několik faktorů:

- Stupeň fyzické námahy (vnitřní produkce tepla Q_M)
- Tepelně izolační schopnost oděvu (tepelná propustnost τ)
- Teplota okolního vzduchu t_v
- účinná teplota okolních ploch t_p
- vlhkost okolního vzduchu (relativní vlhkost)
- rychlost proudění vzduchu

Faktory t_v, t_p, vlhkost a rychlost proudění vzduchu charakterizují tepelný stav prostředí, který se projevuje výsledným tepelným účinkem prostředí na člověka. Většinou se ale snažíme vyjádřit tepelný stav prostředí jedinou, snadno měřitelnou veličinou.

1.1.2 Teplota vzduchu v místnosti

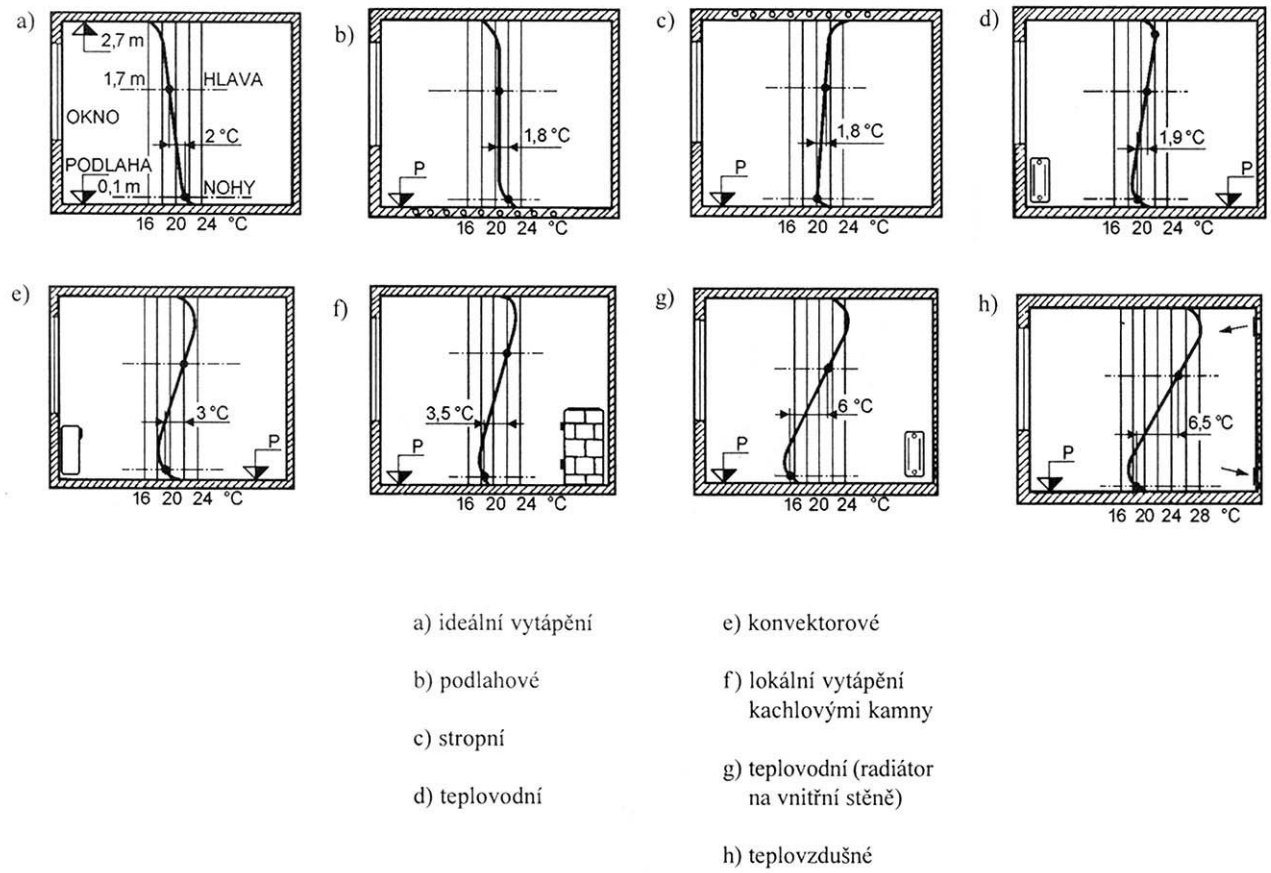
K posouzení tepelného stavu nám poslouží především teplota vzduchu t_v měřená v oblasti pobytu člověka. Teplotu vzduchu lze považovat za uspokojivé měřítko tepelného stavu prostředí tam, kde se jedná o prostředí téměř klidného vzduchu a kde se teplota okolních ploch jen nepatrně liší od teploty vzduchu. Za těchto okolností se teplota vzduchu také shoduje s výslednou teplotou t_i. Teplota vzduchu t_v většinou není v celé místnosti stejná, a proto je nutné posuzovat taktéž její místní změnu, nerovnoměrnost.

Velice důležitá je především vertikální nerovnoměrnost teploty vzduchu ve vytápěných místnostech, která vzniká vlivem nestejnoměrného přívodu tepla a nestejnoměrného ochlazování jednotlivých stěn, podlahy a stropů místností. Vertikální rozložení teplot v místnosti při různých způsobech vytápění je znázorněno na obr. 1.1.

Z hlediska příjemného pocitu je rozhodující teplota dolní vrstvy vzduchu v místě nohou (ve výšce 0,1 m nad podlahou). Dále nás zajímá teplota vzduchu v úrovni hlavy (ve výšce 1,7 m nad podlahou) a následně pak rozdíl těchto dvou teplot, který má velký vliv na tepelnou pohodu v místnosti.

Ideální vytápění (obr. 1.1 a) je takové, kdy je teplota v místě nohou přibližně 21°C a ve výšce hlavy stojícího člověka přibližně 19 °C. Z hlediska tepelné pohody by tedy neměl být rozdíl teplot v místě hlavy a v místě nohou větší než 2,0 °C u stojícího člověka a 1,5 °C u sedícího člověka.

Pro jednotlivé způsoby vytápění je příslušný teplotní rozdíl vždy vyznačen na obr. 1.1. Z obrázku je zřejmé, že z hlediska vertikálního rozložení teplot je nejvýhodnější podlahové vytápění – obr. 1.1 b.



Obr. 1.1 Vertikální rozložení teplot v místnosti při různých způsobech vytápění

1.1.3 Účinná teplota okolních ploch

Aby bylo možné posuzovat výsledný sálavý účinek okolních ploch jednou veličinou, zavádí se tzv. **účinná teplota okolních ploch** t_p. Tato teplota je definována jako společná teplota všech okolních ploch, při níž by celkový tepelný tok sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami byl stejný jako ve skutečnosti. Pro účinnou teplotu okolních ploch bude v případě, kdy se teploty jednotlivých okolních ploch příliš neliší, platit vztah:

$$t_p = \sum_{j=1}^{n} j_j \cdot t_j \ (°C) \qquad (1.3)$$

kde je :

φ_j ..... poměry osálání jednotlivých okolních ploch plochou lidského těla

t_j ..... teploty okolních ploch

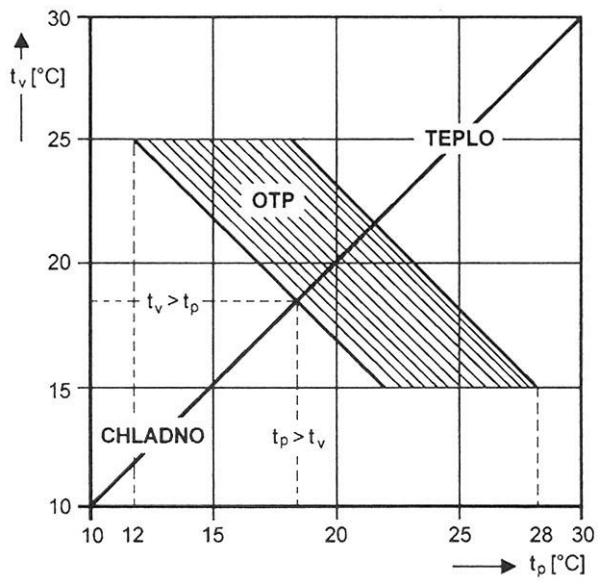
Účinná teplota tedy závisí na teplotách všech okolních ploch a na poměrech osálání, vztažených k ploše lidského těla. V praxi se však od tohoto požadavku upouští a hodnoty se vztahují k elementární kouli, bodu, umístěné obvykle uprostřed objektu.

1.1.4 Výsledná teplota prostředí místnosti

Vyjdeme-li ze vztahu pro tepelnou rovnováhu vyjádřenou pomocí tepelných toků k povrchu těla S a využijeme-li zjednodušení pro součinitele prostupu tepla konvekcí a sáláním $\alpha_k = \alpha_s$ (při proudění vzduchu rychlostí menší než 0,3 $m.s^{-1}$), dostaneme pro výslednou teplotu prostředí, potřebnou pro zajištění tepelné pohody, rovnici ve tvaru:

$$t_i = 0{,}5 \cdot t_v + 0{,}5 \cdot t_p \ (°C) \qquad (1.4)$$

Z toho vyplývá, že tepelná pohoda člověka závisí při dané vnitřní produkci tepla a dané tepelné propustnosti oděvu pouze na teplotě vzduchu a účinné teplotě okolních ploch. Poměr obou teplot t_v a t_p však nemůže být zcela libovolný. Předpokládá-li se, že v místnostech, kde se požaduje výsledná teplota t_i = 18,5 až 21,5 °C, má být teplota vzduchu t_v v mezích od 15 do 25 °C, může se účinná teplota okolních ploch t_p měnit v mezích od 12 do 28 °C. Tato „oblast tepelné pohody“ je názorně vyznačena šrafováním na obr. 1.2.



Obr. 1.2 Oblast tepelné pohody

1.2 Prostup tepla stěnou

Odděluje-li stěna o určitém tepelném odporu prostředí s vyšší teplotou od prostředí s teplotou nižší, dochází nejprve k přestupu tepla z prostředí teplejšího do dělicí stěny. Povrch stěny se zahřívá. Teplo je stěnou následně vedeno a nakonec dochází k přestupu tepla z ochlazovaného povrchu stěny do chladnějšího prostředí. Dohromady lze tyto jevy nazvat prostup tepla stěnou.

U prostupů tepla stěnami při vytápění místností (prostup tepla z místností do venkovního prostředí) jde, z hlediska lokálního rozložení teploty prostředí kolem stěny, o prostupy tepla při stálých teplotách prostředí, v ustáleném stavu. (viz. „Teoretické základy šíření tepla“.)

2. PRAKTICKÝ VÝPOČET OTOPNÝCH ZAŘÍZENÍ

Z hlediska dimenzování otopné soustavy je zapotřebí znát maximální hodnotu tepelných ztrát budovy, tj. množství tepla, které projde z vnitřního prostředí místností o teplotě t_i do chladnějšího venkovního prostředí s teplotou t_e. Na tuto nejvyšší hodnotu v roce je nutno otopnou soustavu dimenzovat. Při výpočtu tepelných ztrát se vychází z ČSN 06 0210.

Vhodnost objektu pro elektrické vytápění se posuzuje na základě vypočtených tepelných ztrát a spotřeby tepla na 1 m^2 obytné plochy. Pro výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění jsou nutné tyto podklady:

- Situační plán, ze kterého je zřejmá poloha budovy vzhledem ke světovým stranám, výška a vzdálenost okolních budov, nadmořská výška místa stavby a převládající směr a intenzita větru
- Půdorysy jednotlivých podlaží budovy se všemi hlavními rozměry, včetně rozměrů oken a dveří, nejméně v měřítku 1:100
- Řezy budovou s udáním všech hlavních výšek (světlá a konstrukční výška místností, výška parapetů apod.)
- Údaje o materiálech a konstrukci stěn, podlah, stropů a střech pro zjištění nebo výpočet součinitele prostupu tepla
- Údaje o materiálu a konstrukci oken a dveří potřebné k výpočtu tepelné ztráty prostupem a infiltrací
- Údaje o využití jednotlivých místností pro určení vnitřní teploty t_i
- Popis zamýšleného způsobu vytápění jednotlivých místností

2.1 Obecný postup výpočtu tepelných ztrát

Celková tepelná ztráta místnosti Q_c podle ČSN 06 0210 se rovná součtu tepelné ztráty prostupem stěnami Q_p a tepelné ztráty větráním Q_v snížená o trvalé tepelné zisky Q_z:

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \ (W) \tag{2.1}$$

Tepelná ztráta prostupem stěnami se určuje z tepelné (základní) ztráty připočítáním přirážek podle vztahu:

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \ (W) \tag{2.2}$$

V rovnici (2.2) je:

Q_o ..... základní tepelná ztráta prostupem tepla (W)
p_1 ..... přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí
p_2 ..... přirážka na urychlení zátopu
p_3 ..... přirážka na světovou stranu

Základní tepelná ztráta Q_o je rovna součtu tepelných toků prostupem jednotlivými stěnami ohraničujícími vytápěnou místnost do venkovního prostředí nebo sousedních místností:

$$Q_o = k_1 \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{e1}) + k_2 \cdot S_2 \cdot (t_i - t_{e2}) + ... + k_n \cdot S_n \cdot (t_i - t_{en}) =$$

$$= \sum_{j=1}^{n} k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_{ej})\ (W) \qquad (2.3)$$

V rovnici (2.3) je:

S_j..... plocha ochlazované stěny (m^2)

k_j ..... součinitel prostupu tepla ($W.m^{-2}.K^{-1}$)

t_i ..... výpočtová vnitřní teplota (°C)

t_{ej}..... teplota na vnější straně j-té stěny (°C)

Je-li u některé ze stěn teplota na vnější straně vyšší než teplota ve vytápěné místnosti, má tepelný tok touto stěnou zápornou hodnotu. V tomto případě jde o tepelný zisk Q_z, který zmenšuje základní tepelnou ztrátu Q_o. V tabulce (2.1) jsou uvedeny hodnoty výpočtové vnitřní teploty t_i pro různé typy místností:

Druh vytápěné místnosti	Vnitřní teplota ti (°C)
obývací místnosti, jako obývací pokoj, ložnice, pracovny, dětské pokoje	20
kuchyně	20
koupelny	24
klozety	20
předsíně, chodby	15

Tab. 2.1 Hodnoty výpočtové vnitřní teploty t_i

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn p_1 umožňuje zvýšení teploty vnitřního vzduchu tak, aby při nižší povrchové teplotě ochlazovaných stěn t_p bylo ve vytápěné místnosti dosaženo požadované vnitřní teploty t_i, pro kterou je základní tepelná ztráta počítána. Tato přirážka závisí na průměrném součiniteli prostupu tepla všech stěn místnosti k_c, který lze vyjádřit vztahem:

$$k_c = \frac{Q_o}{\sum S \cdot (t_i - t_e)}\ (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}) \qquad (2.4)$$

kde je:

ΣS ..... celková plocha všech konstrukcí, které ohraničují vytápěnou místnost (m^2)

t_e ..... výpočtová venkovní teplota pro určitou oblast daná normou (tabulka v ČSN 06 0210)

Přirážku na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí p_1 lze pak stanovit ze vztahu $p_1 \approx 0{,}15.k_c$ nebo přibližně určit z následující tabulky:

k_c (W.m^{-2}.K^{-1})	do 0,1	0,1 - 0,9	0,9 - 1,5	1,5 - 2,0
p_1	0	0,03 - 0,12	0,15 - 0,21	0,25 - 0,30

Tab 2.2 Vyrovnání vlivu chladných konstrukcí

S přirážkou na urychlení zátopu p_2 se v bytové výstavbě, nemocnicích apod. počítá jen v případech, kdy ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění. Za normálních okolností se s přirážkou p_2 nepočítá. Pro přerušovaný provoz se volí podle doby vytápění takto:

- p_2 = 0,1 při denní době vytápění delší než 16 hodin
- p_2 = 0,2 při denní době vytápění kratší než 16 hodin

O výši přirážky na světovou stranu p_3 rozhoduje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce místnosti, při více ochlazovaných konstrukcích poloha jejich společného rohu. Hodnoty přirážky p_3 udává tabulka:

Sv. str.	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
p_3	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Tab 2.3 Vyrovnání vlivu světové strany

Tepelná ztráta větráním Q_v vyjadřuje ztrátu tepla způsobenou přirozeným větráním infiltrací nebo při nuceném podtlakovém větrání a vypočte se ze vztahu:

$$Q_v = c_v \cdot V_v \cdot (t_i - t_e)\ (W) \qquad (2.5)$$

kde je:

c_v ..... objemová tepelná kapacita vzduchu při teplotě 0 °C,
c_v = 1300 J.m^{-3}.K^{-1}

V_v ..... objemový tok větracího vzduchu (m^3.s^{-1})

Objemový tok větracího vzduchu prostoru V_v musí vycházet z hygienických nebo technologických požadavků. Tyto požadavky jsou dány potřebnou intenzitou výměny vzduchu n_h (h^{-1}) v místnosti. Do rovnice pro výpočet tepelné ztráty větráním se pak následně za V_v dosadí větší z hodnot objemového toku větracího vzduchu. Jedná se buď o případ nuceného větrání, kdy provedeme výpočet podle rovnice:

$$V_{vH} = \frac{n_h}{3600} \cdot V_m\ (m^3 \cdot s^{-1}) \qquad (2.6)$$

V_m ..... vnitřní objem prostoru (místnosti) (m^3)

nebo o případ přirozeného větrání infiltrací spárami oken a dveří:

$$V_{vP} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M\ (m^3 \cdot s^{-1}) \qquad (2.7)$$

V rovnici (2.7) je:

$\Sigma(i_{LV}.L)$ .. součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti ($m^3.s^{-1}.Pa^{-0,67}$)

i_{LV}..... součinitel spárové provzdušnosti ($m^3.s^{-1}/m.Pa^{0,67}$)

L..... délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří (m)

B ..... charakteristické číslo budovy ($Pa^{0,67}$)

M..... charakteristické číslo místnosti (-)

Hodnoty součinitele provzdušnosti i_{LV} oken a venkovních dveří jsou uvedeny v ČSN 73 0540-3. Celková délka spáry L se počítá ze jmenovitých rozměrů oken a dveří. Přitom se berou v úvahu spáry mezi jednotlivými křídly a rámem (včetně středních sloupků) a spáry mezi dvěma na sebe přiléhajícími křídly. Charakteristické číslo budovy B vyjadřuje vliv větru na velikost infiltrace. Závisí na umístění budovy v krajině (poloha chráněná, nechráněná nebo velmi nepříznivá poloha) a na druhu budovy (řadové a osaměle stojící budovy).

Podle rychlosti převládajících větrů se dále rozlišuje normální krajina a krajina s intenzivními větry (viz ČSN 06 0210). Charakteristické číslo místnosti M závisí na poměru mezi provzdušností oken a vnitřních dveří. Rozlišují se tyto možné případy:

- místnosti, kde provzdušnost vnitřních dveří je menší než provzdušnost oken (M = 0,4)
- místnosti, kde provzdušnost vnitřních dveří je větší než provzdušnost oken (M = 0,7)
- místnosti bez vnitřních stěn, např. velkoprostorové kanceláře, sály apod. (M = 1,0)
- místnosti, kde provzdušnost vnitřních dveří je přibližně stejná jako provzdušnost oken (M = 0,5)

Jak je vidět, výpočet tepelných ztrát budov podle ČSN 06 0210 je poměrně složitý. Pro předběžný odhad tepelných ztrát, při rozhodování o způsobu vytápění, vystačíme s přibližným určením tepelných ztrát dle tabulky na následující straně. Tabulka (2.4) udává tepelné ztráty na 1 m^3 vytápěného prostoru. Celková tepelná ztráta budovy je pak rovna součtu tepelných ztrát jednotlivých místností.

Způsob ochlazování místností	Tepelné ztráty (W)
Střední místnost (z obou stran vytápěné místnosti):	
a) nad nevytápěným sklepem a shora chráněná vytápěnou místností	34 - 47
b) nad vytápěnou místností a shora též vytápěná místnost	30 - 40
c) nad vytápěnou místností a shora ochlazovaná půdou	37 - 53
Rohová místnost s okny v obou stěnách:	
a) nad nevytápěným sklepem a shora chráněná vytápěnou místností	40 - 58
b) nad vytápěnou místností a shora chráněná vytápěnou místností	35 - 49
c) nad vytápěnou místností a shora ochlazovaná půdou	44 - 65
d) nad nevytápěným sklepem a shora ochlazovaná půdou	47 - 73
Koupelna	40 - 80
Předsíň	15 - 30
Schodiště	18 - 35
Průměrná tepelná ztráta v 1 m; vytápěného prostoru rodinného domku	35 - 60

Tab. 2.4 Přibližné určení tepelných ztrát

2.2 Výpočet otopného příkonu

Pro výpočet příkonu tepelného zdroje je rozhodující zvolený způsob elektrického vytápění, režim vytápění na jmenovitou, popřípadě tlumenou teplotu, způsob nuceného větrání. Skutečný instalovaný elektrický příkon topidel smí být vyšší oproti vypočtenému celkovému příkonu maximálně:

- o 20 % pro příkon do 50 kW
- o 10 % pro příkony vyšší než 50 kW

Jestliže vychází vypočtený příkon elektrického topidla v intervalu první třetiny rozdílu příkonu typové řady topidla, volí se typ s nižším příkonem. Výpočet otopného příkonu má svá specifika pro každý způsob elektrického vytápění. V dalším textu rozebereme způsoby výpočtu otopného příkonu zvlášť pro přímotopné, akumulační a smíšené (hybridní) elektrické topné systémy.

2.2.1 Přímotopné elektrické vytápění

Příkon konvekčního nebo sálavého topidla P_k se stanoví ze vztahu:

$$P_k = Q_c \cdot K \cdot 10^{-3}\ (kW) \qquad (2.8)$$

kde je:

Q_c ..... celková tepelná ztráta objektu (W)

K ..... koeficient průběhu vytápění, volí se hodnota:

..... 1,0 - pro nepřerušovaný provoz,

..... 1,1 - pro topnou přestávku do 4 hodin

..... 1,2 - u přestávky delší než 4 hodiny

..... 1,4 - při občasném použití

2.2.2 Akumulační elektrické vytápění

Při tomto způsobu vytápění se využívá odběr elektrické energie ve vybraných, zpravidla nočních hodinách (nabíjení od 22 do 6 hodin) a ve zdůvodněných případech ve vybraných denních hodinách (dobíjení po 2 hodinách a více).

Příkon akumulačního tepelného zdroje lze stanovit z celkové denní potřeby tepla Qd, jejíž velikost závisí na celkových tepelných hodinových ztrátách Qc, požadované době vytápění na plnou teplotu Tv a době tlumeného vytápění Tt. Do doby vytápění Tv se zahrnuje i doba náběhu na požadovanou teplotu. Dimenzování elektrického příkonu je stejné pro souvislou i rozloženou nabíjecí dobu Tn = 8 hodin

Provozní režimy vytápění pro výpočet příkonu zdroje tepla se stanoví z doby plného vytápění Tv na ti = 20 °C. Akumulační vytápění se navrhuje pro provozní režim daný dobou Tv (h):

- kuchyně 10 h
- kuchyně s jídelnou 12 h
- obývací pokoje 14 h
- dětské pokoje 14 h
- ostatní místnosti 12 h

Dimenzování akumulačních topidel se provádí podle vztahu:

$$P_a = Q_d \cdot k_v \cdot 10^{-3}\ (kW) \qquad (2.9)$$

kde je:

P_a..... příkon akumulačního topidla (kamen) (kW)

k_v ..... součinitel provozu (h^{-1})

Denní potřeba tepla:

$$Q_d = Q_c \cdot T_v\ (W \cdot h) \qquad (2.10)$$

Elektrické ústřední akumulační vytápění se navrhuje pro plné vytápění po 12 hodin. Zbývající denní provoz je buď tlumený, nebo přerušovaný. Celková denní potřeba tepla Q_d pro teplovodní systémy se stanoví podle následujícího vzorce:

$$Q_d = Q_{dd} + Q_{dn}\ (W \cdot h) \qquad (2.11)$$

$$Q_{dd} = \frac{Q_c}{h} \cdot (T_{vd} + T_{td} \cdot f)\,(W \cdot h) \qquad (2.12)$$

$$Q_{dn} = \frac{Q_c}{h} \cdot (T_{vn} + T_{tn} \cdot f)\,(W \cdot h) \qquad (2.13)$$

V rovnicích (2.11), (2.12), (2.13), je:

Q_{dd} ..... potřeba tepla v denní době (W.h)
Q_{dn} ..... potřeba tepla v noční době (W.h)
T_{vd} ..... požadovaná doba vytápění na plnou teplotu v době denní (h)
T_{vn} ..... požadovaná doba vytápění na plnou teplotu v době noční (h)
T_{td} ..... požadovaná doba tlumeného vytápění v době denní (h)
T_{tn} ..... požadovaná doba tlumeného vytápění v době noční (h)
f ..... koeficient vlivu stavební konstrukce, považuje se roven 0,3 pro těžkou, 0,4 pro středně těžkou a 0,5 pro lehkou konstrukci
η ..... účinnost otopného zařízení, η = 0,95

Potřebný příkon se pak stanoví ze vzorce:

$$P_a = \frac{Q_d}{T_n} \cdot 10^{-3}\ (kW) \qquad (2.14)$$

2.2.3 Smíšené (hybridní) elektrické vytápění

Smíšené vytápění sestává z akumulační a přímotopné části. Akumulační vytápění odebírá elektřinu nejvýše 8 hodin denně v noční době stanovené dodavatelem elektřiny. Přímotopné vytápění pracuje při nižších venkovních teplotách v denní mimošpičkové době (např. od 11 do 17 hodin).

Smíšené vytápění umožňuje připojit více elektrických vytápěcích zařízení k dosavadní rozvodné síti, neboť soudobost odběru je nižší než u čistě akumulačního vytápění. Důležité je i zmenšení rozměrů zařízení, a tím i snížení pořizovacích nákladů. Návrh elektrického hybridního topidla se provádí zvlášť pro akumulační a zvlášť pro přímotopnou část.

$$P_h = 0{,}6 \cdot P_a\ (kW) \qquad (2.15)$$

kde :

P_h ..... příkon hybridního topidla (kW)
P_a ..... příkon akumulačního topidla vypočítaný podle vztahu pro akumulační topidla a pro nabíjecí dobu Tn = 8 hodin (kW)

Přímotopná část hybridního topidla se stanoví podle vztahu:

$$P_{ph} = 0{,}4 \cdot P_a\ (kW) \qquad (2.16)$$

Příkon přímotopné části však musí krýt nejméně 90 % tepelné ztráty místnosti. Ústřední akumulační zdroj tepla pro smíšené vytápění se dimenzuje na 60 % příkonu čistě akumulačního ústředního vytápění s osmihodinovou nabíjecí dobou. Příkon přímotopné části hybridního systému musí být nejméně o 10 % vyšší, než je tepelná

ztráta místnosti, a rovná se asi polovině příkonu čistě akumulačního zdroje s osmi hodinami nabíjení.

3. ELEKTRICKÉ VYTÁPĚCÍ SYSTÉMY

Nerovnoměrnost denního odběru, vyplývající z běžného životního rytmu člověka, vedla ke snaze využít volné elektrárenské kapacity v době mimo špičkové zatížení soustavy. To umožnilo nejprve zavádění akumulačních spotřebičů pro vytápění nebo přípravu teplé užitkové vody, které byly zapínány pouze v noci.

Další vývoj však ukázal, že pouze s akumulačním teplem by možnosti elektrizační soustavy byly brzy vyčerpány, a proto dnes elektroenergetika nabízí i přímotopné a hybridní systémy. Užití elektrické energie pro vytápění představuje všude ve světě jednu z ekonomicky nejnáročnějších variant. Tato cena je ale zcela vyvážena vlastnostmi elektrických systémů:

- vysokou spolehlivostí topného systému,
- dokonalou regulovatelností (automatická regulace umožní přesné dodržování tepelného režimu podle nastaveného programu)
- prakticky l00% účinností
- jednoznačnou měřitelností spotřebované energie u odběratele
- minimálními nároky na plochu a na údržbu
- možností řešit otopný systém přesně podle potřeb vytápění interiéru díky variabilitě elektrotopných systémů
- naprosto bezhlučným provozem (elektrické kotle je možné umístit bez problémů přímo ve vytápěném interiéru)
- naprosto čistým, ekologickým provozem (bereme-li v úvahu znečištění životního prostředí pouze v místě, kde se elektrický topný systém přímo nachází)
- vysokou čistotou provozu (nevyžaduje pracnou a špinavou manipulaci, jaká je např. při vytápění uhlím)
- důležitým ekonomickým aspektem jsou poměrně nízké náklady na 1 kWh vyrobeného tepla

Výhody elektrického vytápění oproti jiným možným způsobům jsou z uvedeného přehledu jasně patrné. Elektrické vytápění je považováno za nejčistší a nejkomfortnější formu vytváření tepelné pohody v uzavřených prostorách včetně bytových.

Ani jedna z dalších forem energie nenabízí tak pružně regulovatelný tok tepla do místnosti přesně odpovídající její tepelné ztrátě a žádané vnitřní teplotě. V některých lokalitách na území ČR je vytápění elektrickou energií jediným východiskem jak otop řešit. Jedná se především o lokality a objekty, kde nelze počítat se zásobováním teplem dálkovým rozvodem z tepláren a výtopen, kde není dosud rozvod zemního plynu a kde bude nutno nahrazovat dosavadní vytápění tuhými a kapalnými palivy. Podle umístění zdroje tepla rozlišujeme elektrické topné systémy na:

- **LOKÁLNÍ (místní)**, u nichž je elektrotopný spotřebič umístěn přímo v příslušném vytápěném prostoru
- **CENTRÁLNÍ (ústřední)**, u nichž je zdroj tepla umístěn mimo nebo v jednom z vytápěných prostorů a zásobuje teplem více jiných prostorů nebo objektů

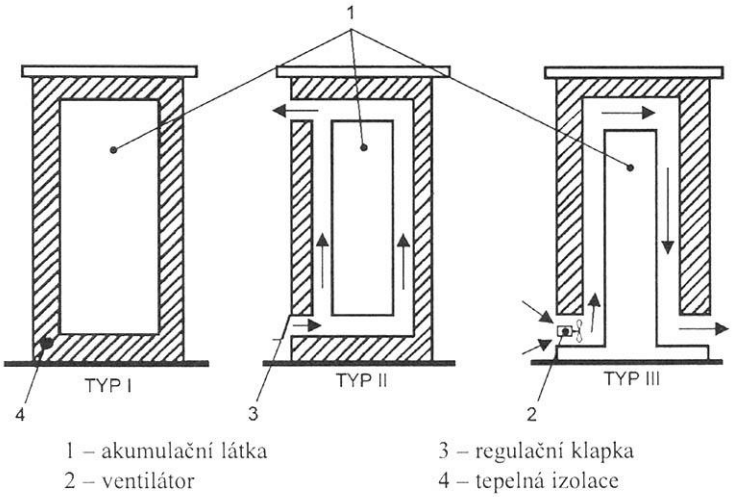
Podle časového odběru elektrické energie ze sítě a její přeměny na teplo rozlišujeme tyto systémy nebo spotřebiče:

- **AKUMULAČNÍ**, při kterém se elektrická energie přeměňuje v teplo, které se skladuje ve vhodném akumulačním materiálu. Teplo se pak samovolně nebo řízeně uvolňuje převážně v době následující po nabití.
- **PŘÍMOTOPNÉ**, při kterém se elektrická energie přeměňuje v teplo ihned vydávané do vytápěné místnosti
- **SMÍŠENÉ**, u nichž se využívá přeměna elektřiny v tepelnou energii částečně akumulačním a částečně přímotopným způsobem

3.1 Akumulační elektrické vytápění

Při tomto způsobu vytápění se využívá odběr elektrické energie ve vybraných, zpravidla nočních hodinách (nabíjení od 22 do 6 hodin) a ve zdůvodněných případech ve vybraných denních hodinách (dobíjení po 2 hodinách a více). Elektrická energie se přeměňuje na teplo v odporových topných článcích nebo kabelech, které jsou uloženy v akumulačním materiálu. Ten má tvar topidla, kotle nebo je betonovou částí stavební konstrukce, zpravidla podlahy.

Vytápění vyžaduje spolehlivou znalost doby vytápění T_v na výpočtovou vnitřní teplotu t_i, do které se zahrnuje i doba tzv. náběhu na plnou teplotu a doba tlumeného vytápění T_t. Existuje několik možných způsobů el. akumulačního vytápění. Jako akumulační materiál se užívá zpravidla magnezit a šamot. Podle konstrukčního provedení a způsobu sdílení tepla při vytápění místností (vybíjení topidla) se rozlišují tři typy akumulačních topidel tak, jak jsou znázorněny na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Základní typy akumulačních topidel

3.1.1 Provedení I

První druh topidla charakterizuje sdílení tepla pouze z vrchu pláště topidla. Vybíjení topidla je přirozené neboli statické , po skončení nabíjení nelze řídit vydávání tepla. Teplo se výlučně sdílí sáláním povrchu topidla a přirozenou konvekcí s povrchu. Příkladem je akumulační topidlo **Ideál.** Akumulační jádro je sestaveno ze

šamotových tvárnic v nichž jsou zabudovány topné tvárnice. Akumulační jádro je zakryto pláštěm z glazovaných kachlů. Teplo se vydává při nabíjení pláštěm okamžitě úměrně teplotě jádra. Tato topidla tedy vydávájí nejvíce tepla po nabití, tj. ráno, a nejméně ve večerních hodinách. Nedoporučuji se proto pro vytápění obytných místností, i když se ve zvláštních případech dosáhne uspokojivých výsledků.

3.1.2 Provedení II

Topidlo předává teplo do místností především povrchem pláště,a to sáláním a konvekcí. Kromě toho je část tepla vydávaná řízeně ohříváním vzduchu, který proudí teplovzdušnými kanály v akumulačním jádru.Vydávaní tepla po ukončeném nabíjení se tedy částečně řídí zavíráním nebo otvíráním průduchu prostorovým termostatem.

Příkladem je topidlo **Ideál FVS** . Konstrukčně se od topidla se statickým vybíjením liší vzduchovými kanály v jádře a částečnou regulací vybíjení. Chladný vzduch se přivádí klapkou do šamotového jádra a proudí směrem vzhůru, dvěma kanály. Společným kanálem se vede směrem dolů.

V nejnižším bodě ohřátý vzduch vstupuje do ocelové vyústky, z níž vystupuje do směšovacího prostoru v horní části kamen.Směšuje se s chladným vzduchem přiváděným otvory pod kamny podél přední stěny. Topidlo je vhodné pro obytné místnosti s drobnými akumulačním vlastnosti (celodenně).

3.1.3 Provedení III

Topidla , u nichž se po ukončeném nabíjení vydávání tepla řídí automaticky podle vnitřní teploty místnosti. Akumulační jádro je dokonale izolováno. Plášť je zpravidla plechový , s velmi nízkými povrchovými teplotami.Teplo se především vybíjí (dynamicky) poháněním vzduchu ventilátorem kanálky v jádře. Takto se vydává asi 75 % tepla. Chod ventilátoru, zpravidla dvourychlostního, se řídí prostorovým termostatem. U nás se vyrábí dva druhy těchto topidel pod názvem **Fikoterm** a kamna označená **AD (R B).**

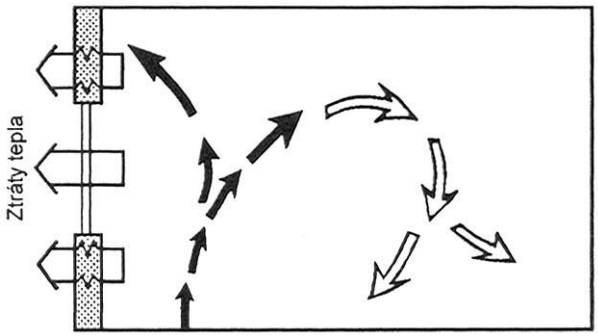
Dynamická akumulační topidla se přednostně využívají pro vytápění bytů a rodinných domků pro pružně řiditelné vydávání tepla a rychlý zátop způsobený teplovzdušným vytápěním. Tyto vlastnosti umožňují velmi hospodárné vytápění při co nejvyšším využití vnitřních i vnějších tepelných zisků.

Topidlo **Fikoterm E** se skládá s akumulačního jádra, topných odporových tyčí, ventilátoru, izolace, pláště a elektrického a regulačního zařízení.Akumulační blok tvoří magnezitové tvárnice v nichž jsou průduchy pro prodění vzduchu poháněného ventilátorem při vybíjení a pro vsunutí topných tyčí.Konstrukce topidla je stavebnicová. Kamna se vybavují bimetalovým ovládačem regulace teploty vystupujícího vzduchu, dvourychlostním regulátorem řízeným prostorovým termostatem podle nastavené vnitřní teploty. Umožňují připojení automatického nabíjecího zařízení a hromadné dálkové ovládání.

Proti přehřátí je akumulační jádro chráněno tepelnou pojistkou. Není-li osazena automatická regulace nabíjení, řídí se nabíjení topidla termostatem v rozmezí tepelné kapacity kamen 35 až 100 %.

3.2 Konvekční elektrické vytápění

KONVEKTORY jsou elektrická topidla, která přeměňují veškerou přivedenou elektrickou energii na teplo. Spodní částí přichází do konvektoru studený vzduchu z horní části odchází ohřátý vzduch, kletý pak přirozenou cirkulací vyhřívá celou místnost (obr. 3.1).



Obr. 3.1 Princip konvekčního elektrického vytápení

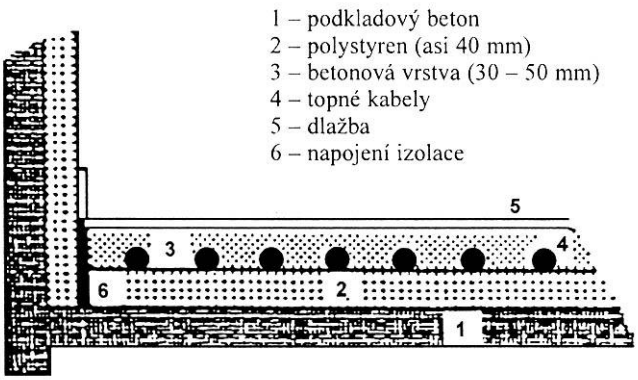
Konvekční topidla s přirozenou konvekcí jsou pojízdná, přenosná nebo určená k pevné instalaci na stěnu. Jsou to buď radiátory s ohřívanou náplní, zpravidla olejovou, nebo konvektory s topným odporem. Jde většinou o trubkové topné těleso z nerez oceli s nalisovanými hliníkovými lamelami, upravené pro tichý provoz. Okolní vzduch se ohřívá přirozeným prouděním kolem topného tělesa.

Moderní konvektory jsou vybaveny kvalitní regulací s možností centrálního řízení jejich provozu. Konvekční topidla s nucenou konvekcí jsou přenosné nebo nástěnné přímotopné spotřebiče, ve kterých je kolem topných odporů vzduch proháněn za pomoci ventilátoru. K výhodám vytápění pomocí elektrických konvektorů patří:

- rychlý ohřev místnosti s respektováním tepelných zisků (oslunění, větší počet osob apod.)
- maximální využití el. energie pro vytápění místnosti
- přesné dodržování požadované teploty v místnosti
- jednoduchost
- automatický provoz s možností časového programování

3.3 Podlahové vytápění topnými kabely

Velkoplošné podlahové systémy, zhotovené zalitím speciálních elektrických topných kabelů do betonové podlahy jsou na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Velkoplošné podlahové systémy

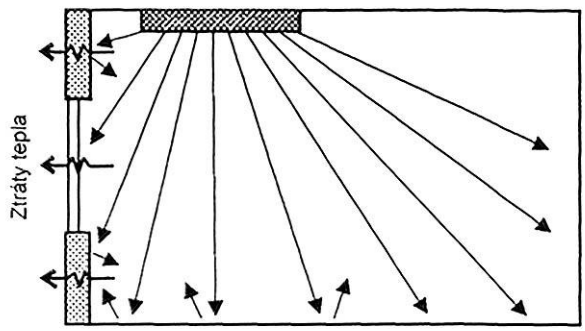
Jsou oblíbené především pro vysokou účinnost, rovnoměrné rozložení tepla po celé ploše, výborné využití vytápěného prostoru, poměrně snadnou realizaci a vytvoření tepelné pohody při nižší teplotě vzduchu než např. u konvektorů.

Musí se ale počítat s tím, že:
- betonová topná podlaha má velkou setrvačnost a z toho plynoucí menší schopnost regulace a delší dobu náběhu na požadovanou teplotu v místnosti
- teplota povrchu podlahy může dosahovat v obytném prostoru maximálně hodnot uvedených v ČSN 06 5210, prakticky to znamená, že střední povrchová teplota nemá přesáhnout 26 až 28 °C
- ohraničení teploty povrchu podlahy limituje topný výkon, a proto je nutné u staveb s většími tepelnými ztrátami nebo v prostorách s malou využitelnou plochou podlahy (např. v koupelnách) doplnit topnou podlahu o přídavný zdroj tepla

Topné podlahy se tepelně izolují od podkladu i od bočních stěn, teplota povrchu je hlídána elektronickým regulátorem.

3.4 Sálavé elektrické vytápění

Zatímco u konvekčního vytápění je tělesem ohříván především vzduch, který předává teplo při proudění po povrchu ohřívaného předmětu, u sálavého vytápění dochází k přenosu tepla hlavně zářením (obr. 3.3)



Obr. 3.3 Sálavé vytápění

Každé těleso vyzařuje do svého okolí elektromagneticko u energii. Ze široké škály vlnových délek nás zajímají jen ty, které mohou předměty pohltit a změnit v energii tepelnou. Sálavá topidla mohou být infračervené zářiče, jejichž topné těleso má povrchovou teplotu vyšší než 250 °C a sálání je usměrněno reflektorem ve stanoveném směru

Nízkoteplotní sálavé vytápění se zabezpečuje sáláním povrchu ploch zahřátých na 25 až 40 °C. Na strop a stěny se zpravidla upevňují speciální fólie nebo panely. V takto vytápěné místnosti je nižší teplota vzduchu a vyšší relativní vlhkost než při vytápění konvekčními otopnými tělesy. Také spotřeba energie je nižší, především z důvodu vytápění na nižší požadovanou teplotu v místnostech.

Existují však hygienická omezení způsobená schopností člověka snášet pouze určitý stupeň sálání. Pokusy bylo zjištěno, že pohltivost lidského těla je 99 %, to znamená vysoké využití vyzářeného tepla od předmětů. Nejpříznivější vlnové délky pro člověka jsou v rozmezí 7,5 až 10 μm.

Zářivý tok po dopadu na předměty se sice dílem odrazí (asi 15 %), ale jeho větší část (85 %) je pohlcována předměty, na které dopadá. Zde dochází k přeměně energie záření na energii tepelnou, předměty se zahřívají. Od takto zahřátých předmětů se dále ohřívá vzduch. Výhody sálavého vytápění, ať už se jedná o vytápění sálavými panely, nebo topnými fóliemi umístěnými na stropě nebo na stěnách, lze shrnout takto:

- v případě předmětů ohřátých sálavým tokem na 20 až 22 °C je možné zajistit tepelnou pohodu při teplotách vzduchu 18 až 19 °C
- lze docílit velice rovnoměrného rozložení teploty ve svislém profilu (rozdíl mezi podlahou a stropem 1 až 2 °C)
- velice dobrá možnost regulace a programového řízení
- úspora energie oproti konvekčnímu vytápění se pohybuje zhruba mezi 18 až 24 %.

Použití sálavých panelů je velmi široké. Jsou určeny pro vytvoření tepelné pohody dílen o světlých výškách do 3,2 m, pro chov ušlechtilých zvířat, temperování skleníků apod. Pro vytápění bytových prostor jsou určeny panely s nižšími jmenovitými příkony.

3.5 Elektrodové ohřívače (elektrodové kotle)

Používá se mnoho různých konstrukcí elektrodových kotlů. Konstruují se nejen pro napětí 230 a 400 V, ale také pro napětí vysoká, až do 35 kV. Elektrody mohou být deskové nebo tyčové, pevné i přestavitelné trubkové. Například ve Švédsku a Norsku se staví elektrodové kotle do příkonu až 100 MW pro trojfázovou soustavu 35 kV.

Dobře provedené elektrodové ohřevy vody jsou po všech stránkách velmi hospodárné. Vycházejí konstrukčně malé, jednoduché, jsou bezporuchové a levné. Kotle větších výkonů nad 300 kW v „klasické“ odporové verzi téměř nemohou konkurovat kotlům elektrodovým, jak z hledisek technologických, tak i ekonomických. Výkon elektrodového zařízení při daném napětí, např. 400 V, lze regulovat těmito způsoby:

- úpravou vodivosti vody
- plochou elektrod (zakrýváním izolačními návleky, zkracováním, prodlužováním)

- přibližováním a oddalováním elektrod
- zasouváním izolačních přepážek mezi elektrody
- rozdělením elektrod na skupiny, které se různě spínají a přepojují
- mechanickým ponořováním a vynořováním elektrod
- změnou výšky hladiny vody v kotli pomocí čerpadla při pevných elektrodách zavěšených shora

Elektrody používané v elektrodových zařízeních malého příkonu mohou být zhotoveny z grafitu. Elektrody používané v zařízeních velkého příkonu, mezi které můžeme počítat i elektrodové kotle určené pro vytápění místností a budov, jsou zhotovovány z kovových materiálů, především pak ze zušlechtěných ocelí. Jde tedy o poměrně velice levné materiály vyráběné v tuzemsku. K výhodám elektrodových kotlů používaných pro vytápění bytů a místností, oproti klasickým odporovým kotlům, patří:
Jednoduchost, levnost, trvanlivost a spolehlivost.

Zcela odpadají topné články z drahých dovážených topných materiálů s omezenou životností. Elektrody jsou levné, snadno zhotovitelné a vyměnitelné. Životnost dobře provedených elektrod se přibližuje životnosti celého ostatního vytápěcího zařízení. Známé jsou životnosti elektrod 20 a více roků

Elektromagnetické pole uvnitř elektrodové komory má dostatečnou intenzitu k vyvolání efektu magnetické úpravy oběhové vody, takže se nemohou tvořit na vnitřních stěnách krystalické nánosy. Naopak, nánosy vzniklé dřívějším provozem se v krátké době rozpustí. Tím se zlepší nejen průtočnost v potrubí, ale především tepelná účinnost otopných těles.

3.5.1 Maximální možná energetická účinnost kotle

Elektrická energie se na teplo přeměňuje přímo v ohřívané vodě. Při nejvyšší povrchové teplotě pláště elektrodového kotle 30 °C je u kotle s příkonem 25 kW ztráta vyzářením izolací kotle cca 25 W. To odpovídá účinnosti přeměny elektrické energie na tepelnou 99,9 %. Ohřev je velmi dynamický.

4. PROBLEMATIKA AUTOMATICKÉ REGULACE VYTÁPĚNÍ

Účelem automatické regulace je udržet samočinně, bez lidského zásahu, na žádané hodnotě fyzikální veličinu, která podléhá změnám. Při vytápění místností je touto veličinou zpravidla vnitřní teplota v místnosti. Udržení veličiny na požadované hodnotě lze dosáhnout takto:
- Změřením skutečné hodnoty regulované veličiny (v našem případě teploty)
- Porovnáním změřené skutečné hodnoty s požadovanou (nastavenou) hodnotou
- Působením na regulovanou veličinu (teplotu nebo průtok vody) v zájmu zmenšení zjištěného rozdílu

Pro návrh regulačního zařízení je nutno znát:
- Požadavky uživatele
- Základní vlastnosti stavební konstrukce a otopné soustavy
- Platné předpisy

Požadavky uživatele bytu se obecně vyjadřují hodnotou vnitřní teploty požadovanou v celém domku nebo bytě, popř. v jeho části nebo v jednotlivých místnostech, jejichž způsob užívání je znám. K základním vlastnostem budovy patří znalost velikostí tepelných ztrát vyjádřených tepelnou charakteristikou budovy a znalost akumulačních vlastností konstrukce

Podle tepelných ztrát objektu se volí druh otopné soustavy. Akumulační vlastnosti ovlivní návrh otopné soustavy s ohledem na výběr regulačního zařízení tak, aby řízení teploty bylo stabilní a přesné. Vlastnosti otopné soustavy umožňují specifikovat:

- Potřebný tepelný výkon otopné plochy pro krytí tepelných ztrát
- Dobu reakce otopné soustavy při změně vnitřní teploty, umožňující výběr regulačního zařízení

Vybrané doby reakce otopné soustavy:

- litinové těleso 20 min až 1 hodina
- ocelové těleso 10 min až 20 min
- konvektor 5 min až 10 min
- velkoplošná podlahová otopná plocha 2 až 5 hodin

Ve všech otopných soustavách, s výjimkou velkoplošného vytápění, lze využít regulaci podle teplotu vnitřního vzduchu. V některých případech se výkon vytápěcí soustavy řídí podle venkovní teploty. Regulace probíhá podle předem stanovené závislosti výkonu na venkovní teplotě a není řízena hodnotou vnitřní teploty. Proto by regulace podle venkovní teploty měla být doplněna regulací podle vnitřní teploty.

4.1 Regulační obvody

Regulační zařízení se skládá z těchto částí:

- Snímač (čidlo), který měří skutečnou hodnotu regulované veličiny, zpravidla teplotu, a přeměňuje ji na takovou fyzikální veličinu (elektrický proud nebo napětí), která se v regulátoru lehce a pohodlně zpracovává
- Regulátor, ve kterém se porovnává skutečná hodnota upravované veličiny (teploty) s požadovanou nastavenou hodnotou, může být vestaven do regulační části nebo snímače
- Regulační část, která uskutečňuje regulaci (např. směšovací ventil s elektrickým pohonem nebo stykač odpínající elektrický topný spotřebič od sítě)

Existuje několik základních typů regulačních obvodů:

4.1.1 Uzavřený regulační obvod

V regulačním obvodu se vyskytují tři základní proměnné veličiny: regulovaná, řídicí a poruchová. Regulovaná veličina je vnitřní teplota. Poruchové veličiny ovlivňují regulovanou veličinu (tepelné ztráty, tepelné zisky, vítr).

Regulátor vyhodnocuje skutečnou hodnotu regulované veličiny (žádané hodnoty) a hodnotu řídicí veličiny. Vzniklá regulační odchylka se zpracuje v regulátoru, který vyšle signál ovládající regulační orgán. Změna výkonu tělesa se projeví změnou vnitřní teploty vzduchu a čidlo zaregistruje změněnou teplotní hodnotu. Okruh je uzavřen.

4.1.2 Uzavřený regulační obvod se zpětnou vazbou

Přidaná zpětná vazba umožňuje předvídat odpověď, a tím zrychlit působení regulace. Snímá se např. teplota přívodní otopné vody (pomocná hodnota) a zavede se do regulátoru. Tento regulační obvod se zpětnou vazbou se uplatní při individuální regulaci teploty vnitřního vzduchu. Pro byty se používají jednoduché a levné způsoby řízení vnitřní teploty prostorovým termostatem se zpětnou vazbou.

4.1.3 Otevřený regulační obvod

Využívá se především u ústředního vytápění, známe-li dostatečně reakce regulovaného obvodu na změny venkovní teploty, která je hlavní poruchovou veličinou. Pomocnou veličinou je teplota otopné vody. Jde tedy o obvod, který se používá při regulaci podle venkovní teploty. Toto zjednodušení regulačního pochodu je podmíněno znalostí závislosti venkovní teploty a teploty otopné vody pro danou vnitřní teplotu v místnostech budovy. Obvod se používá při ústřední regulaci více místností v jedné budově. Změna každé poruchové veličiny (teplota, vítr, oslunění) je snímána čidlem a získaná informace je předána regulátoru. Regulátor řídí regulační část podle nastavených závislostí poruchových veličin na regulované veličině.

Celý regulační pochod probíhá podle zjištěných závislostí nastavených v regulátoru a přesnost i stabilita regulace závisí na tom, jak přesně byly závislosti stanoveny a nastaveny.