

Tepelné zisky z vnitřních vybavení administrativních budov

Heat gains from internal equipment of office buildings

Ing. Michal DUŠKA,
Prof. Ing. František DRKAL, CSc.,
Ing. Miloš LAIN
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Tepelné zisky od elektronických zařízení v administrativních budovách jsou významnou složkou vnitřní tepelné zátěže. Údaje o jejich velikosti, potřebné pro dimenzování klimatizačních zařízení, byly v posledních letech analyzovány v několika zahraničních studiích, širší technické veřejnosti však málo dostupných. Příspěvek shrnuje poznatky v této oblasti, poukazuje na rozdíly mezi štítkovými údaji výrobců a skutečnými (provozními) zisky a poskytuje projektantům údaje, použitelné v projekční praxi.

Klíčová slova: vnitřní tepelné zisky, elektronická zařízení, administrativní budovy

Heat gains from electronic equipment in administration buildings represent an important component of internal thermal load. Data on gain values necessary for the right dimensioning of air conditioning equipment have been analysed in the course of the last years in some foreign studies, however hardly accessible to larger technical public. The contribution resumes the knowledge in this sphere, points out that there are differences between the rating plate values of manufacturers and the real (operational gains and provides the designers with data utilisable in design practice.

Key words: internal heat gains, electronic equipment, administration buildings

V důsledku vývoje informačních technologií, a především jejich aplikací, došlo k významné změně v podílu vnitřních tepelných zisků na celkové tepelné zátěži pracovního prostředí administrativních budov. Tento trend spolu s posunem v pohledu na standardní kvalitu mikroklimatu pracovního prostředí, ke kterému v posledních letech došlo a dále dochází v naší zemi, mají za následek, že chladicí zařízení je stále ve větší míře považováno za běžnou, ne-li nutnou součást administrativních budov. Avšak chladicí zařízení, ať již v jakékoli podobě, tvoří nezanedbatelnou část investičních i provozních nákladů těchto budov.

V důsledku těchto jevů jsou zvyšovány požadavky na přesnost návrhu výkonu chladicích zařízení. V příspěvku se zaměříme na stanovení tepelných zisků z vnitřních vybavení administrativních budov jako jsou počítače, monitory, tiskárny, kopírky, faxy a skenery. Tento článek vychází z rešerše autora v rámci doktorského studia. Nejdostupnějším výkonovým parametrem je bezpochyby příkon udávaný výrobcem. Hodnota příkonu pro zařízení, u kterého nedochází k odvádění tepelného výkonu jinak než pouze přes prostor, v kterém je umístěno, je rovna tepelnému výkonu a tedy i tepelnému zisku. Tento předpoklad je splněn u naprosté většiny zařízení využívaných v administrativních budovách.

Otázkou tedy je, zda údaj o příkonu zařízení udávaných výrobcem odpovídá skutečným hodnotám příkonu zařízení za jejich provozu. Tímto bodem se zabývaly prakticky všechny studie na toto téma. Výsledek je jednoznačný, hodnota uváděná výrobcem jako příkon neodpovídá reálnému maximálnímu příkonu, a tedy i výkonu zařízení, ale maximální instalované kapacitě komponentů. Například skutečný maximální výkon pracovní stanice (počítač a monitor) se pohybuje podle studií Wilkins a kol. (1991) a Hosni a kol. (1999) v rozmezí 20 až 30 % hodnot udávaných výrobcem.

Pro správný výpočet tepelné zátěže z vnitřních zařízení je dále nutné stanovit radiační a konvekční tepelný tok z instalovaného zařízení. Teplo předávané do prostoru konvekcí má okamžitý vliv na tepelnou zátěž, kdežto teplo v podobě radiace je nejprve absorbováno do okolních stavebních konstrukcí, nebo interiérových prvků, a teprve pak konvekcí ovlivňuje tepelnou zátěž prostoru se zpožděním vlivem částečné akumulace.

1. POSTUPY MĚŘENÍ

Základním cílem většiny studií bylo stanovení hlavních výkonových parametrů, jako jsou skutečné tepelné zisky zařízení, nejčastěji ve dvou základních reží-

mech – při chodu zařízení a v úsporném režimu, a snaha o rozdělení tepelného zisku na radiaci a konvekci.

1.1. Měření tepelné zátěže

Skutečná tepelná zátěž byla vždy získána měřeními elektrického příkonu zařízení. V případě studií Wilkins a kol. (1991) a Wilkins a McGaffin (1994) byla maximální hodnota výkonu zařízení zaznamenávána v prvním případě manuálně a v druhém případě automaticky. Průměrnou hodnotu vyhodnotil měřicí přístroj vždy za zvolenou periodu. Nový koncepční přístup je v práci Hosni a kol. (1999), kde je popsán jednoznačný postup pro stanovení maximálního a průměrného výkonu měřeného zařízení. Měření v ustáleném stavu bylo zajištěno, že celkový tepelný zisk zařízení odpovídá elektrickému příkonu. Pro měření byl použit watt hodinový elektroměr, který zaznamenával naměřené hodnoty každých 30 sekund po dobu 30 minut. Za maximální hodnotu tepelného výkonu byla považována maximální průměrná hodnota z šesti po sobě jdoucích měření (tedy průměrná hodnota z třímínutového intervalu). Hodnoty okamžitých výkonů, které jsou větší než takto zvolený maximální tepelný výkon, nelze považovat za směrodatné hodnoty, protože tyto náhlé nárůsty výkonu nemají vzhledem k tepelné setrvačnosti zařízení vliv na tepelné zisky budovy.

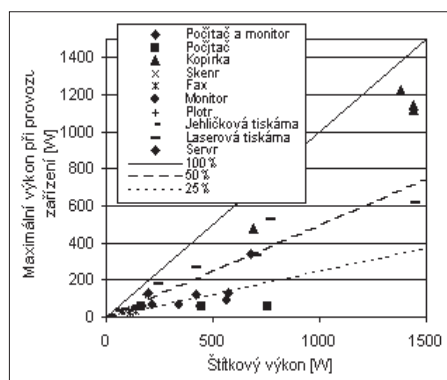
1.2. Měření radiačních a konvekčních tepelných zisků

První prací zabývající se rozdělením tepelných zisků z kancelářských zařízení do jednotlivých složek byla studie Wilkins a kol. (1991). Tepelné zisky z povrchu zařízení byly stanoveny z hodnot součinitelů přestupu tepla konekcí h_{rad} a h_{con} [W/m²K] a měření povrchových teplot těchto ploch. Konvekční tepelný zisk z vnitřní části zařízení, ať nucený nebo přirozený, byl stanoven odečtením tepelného zisku z vnějšího povrchu od celkového tepelného příkonu, jehož měření bylo popsáno výše.

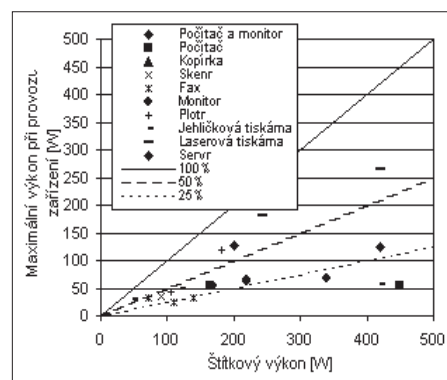
Velký pokrok v postupu stanovení tepelných zisků přinesl výzkumný projekt RP-822 („Test Method for Measuring the Heat Gain and Radiant/Convective Split from Equipment in Buildings“) asociace ASHRAE. V rámci tohoto rozsáhlého projektu byly stanoveny parametry měřicí komory a zařízení zajišťující odpovídající stav mikroklimatu – Hosni a kol. (1998), dále vhodné metody měření radiační složky tepelného zisku ze zařízení, včetně kalibrace čidel.

Mezi základní tři metody měření radiační složky tepelných zisků patří: použití malé kalorimetrické komory, kde tepelné zisky radiací jsou určovány z nárůstu

teplot stěn komory. Další metoda je použití infračervených snímků ke stanovení povrchových teplot zařízení a následný výpočet tepelných zisků radiací. Poslední metodou je použití radiometru k přímému měření tepelných zisků radiací. Pouze poslední dvě metody jsou praktické, poskytují uspokojivé výsledky, jestliže jsou aplikovány správně. Z porovnání vybraných metod se zdá vhodnější metoda přímého měření tepelných zisků radiací. Tato metoda má následující výhody: nižší cena vybavení, jednodušší zpracování naměřených dat, vyšší míra automatizovanosti měření a snazší měření zařízení s cyklicky se opakujícími procesy, u kterých je nutné stanovit průměrnou hodnotu radiace za cyklus.



Obr. 1 – Srovnání skutečných a štítkových výkonů (do 1500 W)



Obr. 2 – Srovnání skutečných a štítkových výkonů (do 500 W)

Měření radiační složky tepelných zisků metodou přímého měření radiometrem vyžaduje měřicí komoru splňující následující požadavky:

- Komora by měla mít odpovídající rozměry, tak aby stěny nebyly výrazně tepelně ovlivněny radiací měřeného zařízení. Pro zařízení do výkonu 300 W je dostačující šířka 3 m, délka 3 m a výška 2,5 m (v tomto výzkumu byla použita komora o rozměrech 7,3 m x 4,9 m a výšce 2,7 m). Měřené zařízení by mělo být umístěno 0,6 m nad podlahou ve středu místnosti.
- Měřicí komora by měla být umístěna v prostoru s klimatizovaným stavem prostředí, se kterým by měla sousedit všemi šesti stěnami. Jestliže některá ze stěn sousedí s venkovním prostředím, nebo s prostorem s neupraveným stavem prostředí, měla by být izolována tak, aby se teplota povrchu stěny nelišila o více než 1 K od teploty vzduchu v měřicí komoře.
- Komora by měla být bez oken (v tomto výzkumu byla komora vybavena plexisklovým průhledítkem o rozměrech 572 x 279 mm).
- Vnitřní povrchy komory (stěny, strop a podlaha) by měly být upraveny tak, aby jejich součinitel emisivity byl znám a ne menší než 0,8. V komoře by neměly být velké reflexní plochy.
- Veškeré vybavení by mělo být umístěno vně měřicí komory. Má-li však komora větší rozměry, než výše popsané minimální rozměry, je možné vybavení umístit uvnitř komory, nejbližší však 1,5 m od měřeného zařízení.
- Při měření by neměl být v komoře žádný jiný významný zdroj tepelných zisků. Osvětlení může být zapnuté i během měření, ovšem se s vyšším výkonem než 60 W. Všechna světla v průběhu měření by měla být opatřena stínítkem zabraňujícím expozici měřicí soustavy, nebo měřeného zařízení.
- V blízkosti měřeného zařízení by neměla být naměřena zvýšená rychlost proudění způsobená přívodem vzduchu z klimatizačního zařízení (v tomto výzkumu byla rychlost vzduchu menší než 0,1 m/s).
- Během měření by teplota vzduchu neměla kolísat více než o 1 K. Průměrná teplota by měla být v rozmezí od 21 do 24 °C.

2. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

2.1. Výsledky měření výkonů jednotlivých zařízení

Obor informačních technologií je odvětví, které se velmi rychle vyvíjí i rozvíjí, proto budou v celém rozsahu uvedeny pouze výsledky nejnovějšího a současně nejrozsáhlejšího měření výkonových parametrů jednotlivých zařízení v roce 1999 v rámci výzkumného projektu RP-1055 ASHRAE, publikováno Hosni a kol. (1999). Nebude-li uvedeno jinak, všechny následující hodnoty, grafy a tabulky jsou převzaty, nebo vycházejí z hodnot uvedených v této publikaci. Při tomto měření bylo použito měřicích zařízení a metod použitých a ověřených v projektu RP-822, které byly popsány výše.

Porovnání výkonů uváděných výrobcem se skutečnou naměřenou hodnotou je zobrazeno v obr. 1. V obr. 2 jsou zobrazeny stejné hodnoty, ale s omezenou hodnotou štítkového výkonu, tak aby zařízení s menším výkonem, kterých je

většina, byla přehledně uvedena. Skutečný výkon představuje maximální výkon zařízení při provozním režimu, podmínky měření byly popsány výše. Z výsledků měření vyplývá, že poměr výkonů uváděných výrobcem k naměřeným hodnotám je pro většinu zařízení v rozmezí 50 až 25 %. Pro jednotlivé druhy zařízení je rozptyl těchto hodnot uveden v tab. 1.

Tab. 1 – Rozptyl skutečných a štítkových výkonů pro jednotlivá zařízení

Zařízení	od	do
	[%]	
Počítač	7	32
Server	50	63
Monitor	15	32
Tiskárny	41	74
Kopírky	69	89
Faxy a skenery	22	44

Výsledky vyhodnocení radiačního a konvekčního tepelného toku přinesly kompaktnější soubor hodnot oproti předchozímu případu. Bez hlubšího rozboru výsledků je možné říci, že z celkového tepelného zisku zařízení administrativních budov činí přibližně 20% radiace a 80% konvekce. Tyto hodnoty je možné výrazně zpřesnit, a to ve dvou základních rovinách, první je dělení zařízení podle toho, zda jsou vybaveny ventilátorem, nebo nikoli.

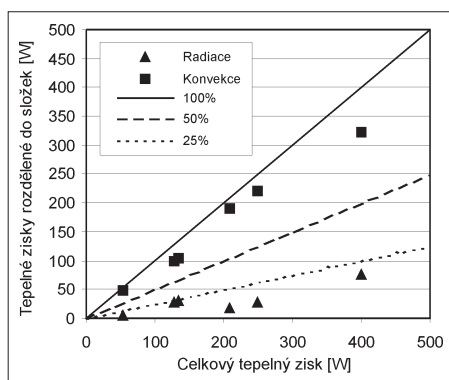
Znázornění výsledků měření s takto provedeným dělením je v obr. 3 a obr. 4. Při použití tohoto dělení dostáváme přesnější vyhodnocení výsledků; z celkového tepelného zisku zařízení činí přibližně 10 % radiace a 90 % konvekce je-li zařízení vybaveno ventilátorem, a přibližně 30 % radiace a 70 % konvekce není-li zařízení vybaveno ventilátorem. Druhou možností vyhodnocení je stanovení radiační a konvekční složky pro jednotlivé druhy zařízení; toto dělení je uvedeno v tab. 2.

Tab. 2 – Přehled podílu radiačních a konvekčních tepelných toků zařízení

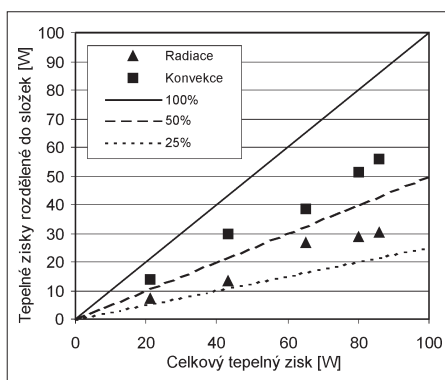
Zařízení	Ventilátor	Radiace	Konvekce
		%	
Počítač	ano	10 až 15	85 až 90
Monitor	ne	35 až 40	60 až 65
Počítač a monitor	-	20 až 30	70 až 80
Laserová tiskárna	ano	20 až 25	75 až 80
Kopírka	ano	30 až 35	65 až 70
Fax	ne		

2.2. Tepelné zisky podle druhu zařízení

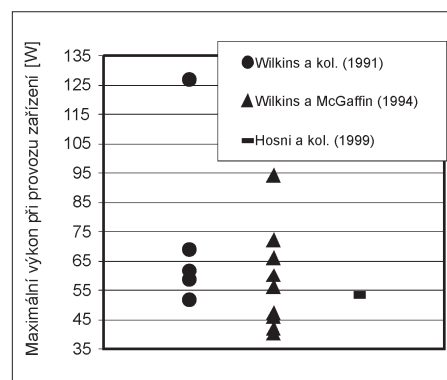
Nečastějším a také nevhodnějším způsobem určení vnitřních tepelných zisků je zjištění instalovaných, nebo navržených zařízení a snaha o správné vyjádření jejich tepelných zisků. Proto v této části bude věnována pozornost jednotlivým druhům zařízení.



Obr. 3 – Radiační a konvekční tepelný tok u zařízení s ventilátorem



Obr. 4 – Radiační a konvekční tepelný tok u zařízení bez ventilátoru



Obr. 5 – Výkony počítačů naměřené v uvedených studiích

Počítač

Pod termínem počítač je myšlena kompaktní jednotka obsahující základní komponenty (základní deska, procesor, numerický koprocesor, operační paměť, cache paměť, CMOS paměť, pevné disky, rozhraní pevných disků, grafická karta, ...) i volitelné komponenty (mechaniky pružných disků, interní mechanika CD-ROM, interní mechaniky jiných diskových médií, zvuková karta, síťová karta, ...). Z popisu možného vybavení, je zřejmé, že jednoznačné stanovení tepelného výkonu podle jednoduchého kritéria je zcela nemožné. Toto tvrzení podporuje porovnání výsledků měření skutečných výkonů počítačů v jednotlivých studiích, viz obr. 5. Na tomto místě je nutné upozornit, že u výkonových parametrů došlo k významným změnám, které se projeví ve dvou směrech. U počítačů s procesory Pentium začal být významný rozdíl mezi spotřebou energie při provozním a při úsporném režimu a to až o 18 W, dále se rapidně snížil rozptyl naměřených hodnot výkonu, které se podle nejnovějších měření ve studii Hosni a kol. (1999) pohybuje v rozmezí 53 až 54 W. Pro kvalifikované vyhodnocení těchto jevů bude však nutná studie zaměřená na stanovení závislosti tepelných zisků na typu, výkonu a způsobu použití zkoumaného zařízení. Pro běžnou projekční praxi je vhodné držet se parametrů uvedených v tab. 3.

Tab. 3 – Přehled maximálních výkonů počítačů

	Provoz	Útlum
	[W]	
Průměrná hodnota	55	35
Bezpečná hodnota	65	40
Velmi bezpečná hodnota	75	45

Monitor

Ve všech studiích byly měřeny monitory pracující na principu katodové trubice, údaje o displejích z tekutých krystalů (LCD) nejsou bohužel k dispozici. Použití této technologie povede jistě k citelnému snížení tepelných výkonů monitorů. Z měření v rámci studie Hosni a kol. (1999) sestavili autoři rovnici (1) vyjadřující vztah tepelného zisku monitoru Q [W] na velikosti úhlopříčky monitoru d [inch].

$$Q = 5d - 20 \quad (1)$$

Vztah je pouze snahou o jednoduché vyhodnocení naměřených hodnot, nelze jej považovat za nalezenou fyzikální závislost. Platnost je uváděna v rozmezí velikosti úhlopříčky monitoru d od 14 do 20 inch. Tato závislost spolu s hodnotami, ze kterých byla vytvořena a hodnotami z předchozí studie, byla zobrazena v obr. 6. Doporučené tepelné zisky pro návrh jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 – Přehled maximálních výkonů monitorů

	Provoz	Útlum
	[W]	
Malý monitor 13 až 15 inch	55	55
Střední monitor 16 až 18 inch	70	70
Velký monitor 19 až 20 inch	80	80

Laserová tiskárna

Výkon laserových tiskáren je závislý především na velikosti tiskárny a stupni jejího využití. Malé stolní tiskárny jsou určeny pro individuální využití a jen zřídka jsou použity pro rozsáhlejší tisk. Většinu provozního času tedy běží v úsporném režimu. Opakem jsou výkonné tiskárny určené pro tisková centra. Jejich provoz je často nepřetržitý, trvající i několik hodin. Z tohoto důvodu byl tepelný zisk laserových tiskáren rozdělen podle velikosti a stupně využití, viz tab. 5.

Tab. 5 – Přehled maximálních výkonů laserových tiskáren

Velikost zařízení	Provoz max. výkon	1 (list)/min	Útlum
	[W]		
Malá stolní	130	75	10
Stolní	215	100	35
Malé kanceláře	320	160	70
Velké kanceláře (tisková centra)	550	275	125

Kopírka

Ze čtyř testovaných kopírek byla pouze jedna malá stolní, ostatní byly výkonné kopírky užívané v tiskových centrech. Proto je rozsah výsledků prezentovaných v tab. 6 menší než v předchozím případě.

Tab. 6 – Přehled maximálních výkonů kopírek

Velikost zařízení	Provoz max. výkon	1 (list)/min	Útlum
	[W]		
Malá stolní	400	85	20
Velké kanceláře (tisková centra)	1100	400	300

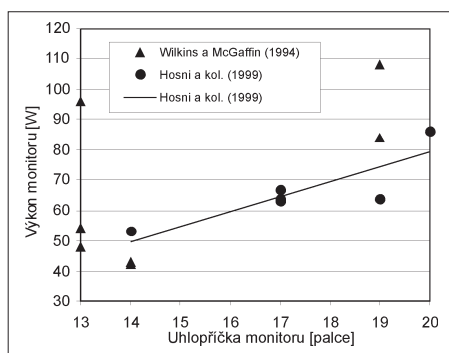
Mezi ostatní kancelářská zařízení byly zařazeny skenery, faxy a dnes již téměř nepoužívané jehličkové tiskárny. Tepelný zisk těchto zařízení je uveden v tab. 7.

Tab. 7 – Přehled maximálních výkonů ostatních kancelářských zařízení

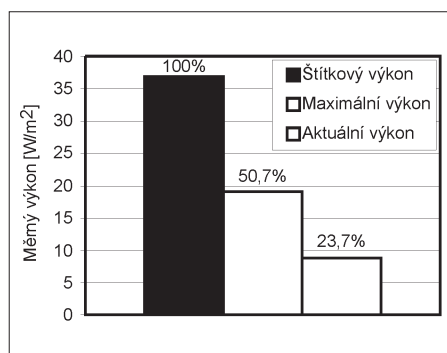
Zařízení	Provoz	Útlum
	[W]	
Fax	30	15
Skener	25	15
Jehličková tiskárna	50	25

2.3. Současnost tepelných zisků

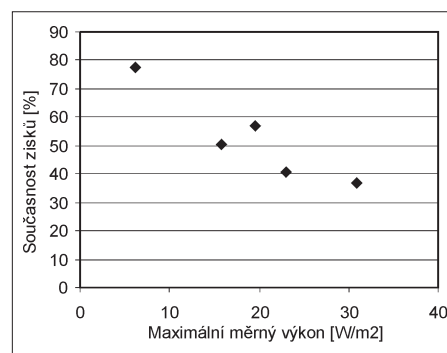
V předchozím textu byl popsán způsob stanovení a konkrétní naměřené hodnoty tepelných zisků a jejich radiační a konvekční složky. Pro správný výpočet tepelné zátěže administrativních budov potřebujeme znát ještě jeden význam-



Obr. 6 – Závislost výkonu na velikosti monitoru



Obr. 7 – Porovnání měrných výkonů



Obr. 8 – Závislost současnosti zisků na hustotě výkonu instalovaného zařízení

ný parametr, a tím je současnost tepelných zisků od instalovaného zařízení. Již z termínu současnost je zřejmé, že jednotlivá zařízení v daném prostoru neběží ve stejném provozním režimu. Zařízení, která nejsou používána přejdou po určité době do úsporného režimu, nebo jsou vypnuta. Vliv současnosti je tedy tím větší, čím více zřízení ovlivňuje tepelnou zátěž ve sledovaném prostoru. Působí na ni i další vlivy. Má přímou vazbu na charakter práce a způsob, jakým jsou jednotlivá zařízení používána.

Stanovení současnosti tepelných zisků se věnovali ve své práci Wilkins a McGaffin (1994). Výzkum provedli v pěti administrativních budovách o celkové podlahové ploše 25 600 m². Ve všech budovách převažují velkoplošné kanceláře nad individuálními kancelářemi. Hustota pracovišť byla velká – s pracovními stanicemi na každém pracovním stole.

Současnost tepelných zisků, tedy poměr aktuálního výkonu měřených zařízení k součtu maximálních výkonů těchto zařízení, se pohybovala pro jednotlivé budovy v rozmezí od 37 do 78 %, v průměru to bylo 47 %.

Obr. 7 ilustruje poměr mezi štítkovým výkonem udávaným výrobcem, součtem skutečných maximálních výkonů a aktuálním výkonem. Uvedené údaje vyplývají z výše citované studie a představují průměrné hodnoty vztažené na jednotku plochy kanceláří. Z obr. 8, který byl vypracován z výsledků studie, je zřejmý vztah mezi hustotou instalovaného výkonu a vlivem současnosti. Čím více zařízení je instalováno v určitém prostoru, tím nižší je současnost jejich provozu. Pro kvalifikované vyhodnocení tohoto jevu a dalších vlivů bude nutno podrobnější studie.

3. TEPELNÉ ZISKY VZTAŽENÉ NA PŮDORYS KANCELÁŘE

Při předběžném návrhu klimatizačních zařízení do velkoplošných kanceláří s velkou variabilitou pracovišť se neobejdeme bez údajů o tepelných ziscích vztahených na jednotku půdorysné plochy kanceláře. Z výše uvedených studií byla sestavena tabulka hustoty tepelných zisků z vnitřního vybavení vztahených na plochu, která byla publikována v ASHRAE Handbook Fundamentals 2001; v tomto článku je citována jako tab. 8.

Tab. 8 – Přehled skutečných výkonů kancelářských zařízení (podle ASHRAE 2001)

Zatížení pracovišť	Hustota zisků [W/m ²]	Popis
Lehké	5,4	Předpokládá se 15,5 m ² /pracoviště (6,5 pracovišť na 100 m ²) s počítačem a monitorem na každé pracovní místo a jednou tiskárnou a faxem. Současnost počítače, monitoru a faxu 0,33, tiskárny 0,33.
Střední	10,8	Předpokládá se 11,6 m ² /pracoviště (8,5 pracovišť na 100 m ²) s počítačem a monitorem na každé pracovní místo a jednou tiskárnou a faxem. Současnost počítače, monitoru a faxu 0,75, tiskárny 0,50.
Středně těžké	16,1	Předpokládá se 9,3 m ² /pracoviště (11 pracovišť na 100 m ²) s počítačem a monitorem na každé pracovní místo a jednou tiskárnou a faxem. Současnost počítače a monitoru 1,0, faxu a tiskárny 0,50.
Těžké	21,5	Předpokládá se 7,8 m ² /pracoviště (13 pracovišť na 100 m ²) s počítačem a monitorem na každé pracovní místo a jednou tiskárnou a faxem. Současnost počítače a monitoru 1,0, faxu a tiskárny 0,50.

4. ZÁVĚR

Tepelné zisky od vnitřního vybavení představují významnou část tepelných zisků klimatizovaných kancelářských prostor. Skutečné zisky jsou výrazně nižší nežli štítkové hodnoty instalovaných kancelářských zařízení. Štítkové hodnoty prezentují pouze součet max. příkonů všech komponent včetně rezervy; skutečný výkon i při plném zatížení je nižší, další snížení nastane vlivem nesoučasnosti a útlumových stavů. Z analýzy korekcí a současnosti prezentovaných v předchozích odstavcích lze pro kancelář s podlahovou plochou 10 m² na osobu uvažovat se skutečným výkonem kancelářské techniky 8 až 16 W/m².

Vzhledem k neustálému vývoji výpočetní techniky je třeba pokračovat ve výzkumu v oblasti tepelných zisků. Stále není plně dořešen aspekt tepla předaného radiací.

Rostoucí výkony procesorů vyžadují stále intenzivnější chlazení a tak se již objevují i kancelářské počítače s chlazením (vodní okruhy, nebo polovodičové chlazení). Je možné, že v budoucnu se tepelný výkon kancelářské techniky nebude podílet na tepelné zátěži kanceláří.

Předložený příspěvek se zabývá běžnými kancelářskými zařízeními. Pro výpočetní centra, serverové místnosti a speciální grafická zařízení je třeba vycházet z detailních informací výrobců. Přesto lze analogicky předpokládat, že skutečné výkony i zde budou nižší nežli štítkové hodnoty.

Příspěvek byl vypracován s podporou MŠMT (Výzkumný záměr MSM 210000011).

Příspěvek byl přednesen na 16. konferenci Klimatizace a větrání v únoru 2004.

Použitá zdroje:

- [1] ASHRAE Handbook, Fundamentals, 2001, Chapter 29
- [2] WILKINS, C. K., HOSNI, M. H., *Heat gain from office equipment*. ASHRAE Journal, 2000 June, p. 33–43
- [3] HOSNI, M. H., JONES, B. W., HANMING, Xu, *Experimental results for heat gain and radiant/convective split from equipment in buildings*. ASHRAE Transactions, 1999, p. 527–539
- [4] HOSNI, M. H., JONES, B. W., SIPES, J. M., HANMING, Xu, *Total heat gain and the split between radiant and convective heat gain from office and laboratory equipment in buildings*. ASHRAE Transactions, 1998, p. 356–365
- [5] JONES, B. W., HOSNI, M. H., SIPES, J. M., *Measurement of radiant heat gain from office equipment using a scanning radiometer / Discussion*. ASHRAE Transactions, 1998a, p. 1775–1783
- [6] WILKINS, C. K., MCGAFFIN, N., *Measuring computer equipment loads in office buildings*. ASHRAE Journal, 1994, 36(8), p. 21–24
- [7] WILKINS, C. K., KOSONEN, R., LAINE, T., *An analysis of office equipment load factors*. ASHRAE Journal, 1991, 33(9), p. 38–44. ■