SPOLEČNOST PRO TECHNIKU PROSTŘEDÍ
ODBORNÁ SEKCE KLIMATIZACE A VĚTRÁNÍ

22. konference

Klimatizace a větrání

Sborník přednášek

Praha, 18. až 19. října 2017

SPOLEČNOST PRO TECHNIKU PROSTŘEDÍ DĚKUJE ZA SPOLUPRÁCI A PODPORU PŘI PŘÍPRAVĚ 22. KONFERENCE KLIMATIZACE A VĚTRÁNÍ 2017

GENERÁLNÍMU SPONZOROVI KONFERENCE:

HLAVNÍMU SPONZOROVI KONFERENCE:

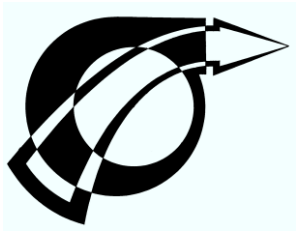
SPONZORŮM KONFERENCE:

SPOLEČNOST PRO TECHNIKU PROSTŘEDÍ

ODBORNÁ SEKCE KLIMATIZACE A VĚTRÁNÍ

22. konference

Klimatizace a větrání



Větrání a klimatizace pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie

Sborník přednášek

Praha, 18. až 19. října 2017

ÚVODNÍ SLOVO

V roce 2017 připravila odborná sekce Klimatizace a větrání Společnosti pro techniku prostředí svojí již dvacátou druhou konferenci. Mottem této konference je "Větrání a klimatizace pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie", ale prezentované příspěvky, jak už je zvykem, pokrývají celou oblast větrání a klimatizace spolu se spřízněnými obory.
Příspěvky, které naleznete ve sborníku, budou prezentovány v rámci šesti tematických bloků dvoudenní konference.

Věřím, že témata prezentovaná na této konferenci budou přínosem nejen pro jednotlivé účastníky a jejich odborný růst, ale i pro samotnou problematiku větrání a klimatizace.

Na závěr úvodního slova bych chtěl poděkovat celému organizačnímu výboru konference za práci na přípravě konference. Dále děkuji všem autorům, kteří reagovali na výzvu a připravili své příspěvky. Můj dík patří též sponzorům a inzerentům, kteří přispívají ke zdárnému průběhu konference nejen finančně, ale i odbornými příspěvky a informacemi.
V neposlední řadě děkuji Vám, účastníkům této konference, za to, že svou účastí dáváte naší konferenci význam největšího setkání odborníků a zájemců o obor Klimatizace a větrání v České republice.

Ing. Miloš Lain, Ph.D.
odborný garant konference

Organizační výbor konference

Ing. Radka Čapková, Ing. Jiří Frýba, Ing. Marcel Kadlec, Ing. Miloš Lain, Ph.D., Ing. Marek Mádr, Ing. Zuzana Mathauserová, Ing. Jan Matějka, Ing. Jiří Petlach, Ing. Stanislav Toman

OBSAH

ADAPTIVNÍ VĚTRÁNÍ KE ZLEPŠENÍ PODMÍNEK VNITŘNÍHO MIKROKLIMA: PŘÍPADOVÁ STUDIE POUTNÍ KAPLE SVATÝCH SCHODŮ 7
Michala Balounová, Karel Kabele

PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI S PŘEJÍMKAMI STAVEB 13
Jaroslav Bambous

BUDOUCNOST ZADÁVÁNÍ A REALIZACE STAVEBNÍCH ZAKÁZEK BIM V ČR 17
Radek Bašta

ÚVOD KE KONCEPTU VĚTRÁNÍ 22
Jan Bedřich

HODNOCENÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ PRO UČEBNY ŠKOL 26
Marek Begeni, Vladimír Zmrhal

KAM SMĚŘUJE PROFESE PROVOZOVATELE VZT ZAŘÍZENÍ 34
Jiří Frýba

NORMALIZACE A ODLUČOVACÍ SCHOPNOSTI FILTRŮ PRO BĚŽNÉ VĚTRÁNÍ 38
Jiří Hemerka

NÁVRH A PROJEKTOVÁNÍ DATOVÝCH CENTER 50
Pavel Herout

PROJEKT VZT A ZOK V KOMPLEXU BUDOV VOJENSKÉHO HISTORICKÉHO ÚSTAVU PRAHA 59
Ondřej Hlaváček, Stanislav Toman

HODNOCENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V BUDOVÁCH S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE 68
Karel Kabele, Zuzana Veverková, Miroslav Urban

VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ V TUNELOVÝCH STAVBÁCH BĚHEM VÝSTAVBY 78
Jan Klečka, Jaroslav Synek

NÁVRH POŽIARNEHO VETRANIA GARÁŽE POMOCOU CFD SIMULÁCIE 86
Miroslava Kmecová, Peter Buday

POŽÁRNĚ ODOLNÉ VZDUCHOTECHNICKÉ POTRUBÍ A POTRUBÍ PRO ODVOD KOUŘE A TEPLA (NORMY, TESTY, VÝROBA, MONTÁŽ) 91
Vít Koverdynský

ENERGETICKÁ BILANCE ODPADNÍHO TEPLA Z CHLAZENÍ PRO ODVLHČOVÁNÍ VZDUCHU 96
Vladimíra Linhartová

PROVOZ CHLADICÍCH ZAŘÍZENÍ PRO KLIMATIZACI BUDOV S OHLEDEM NA DOSAŽENÍ MAXIMÁLNÍHO CELKOVÉHO CHLADÍCÍHO FAKTORU 102
Karel Matějíček

KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV – POŽADAVKY NAŠÍ LEGISLATIVY 112
Zuzana Mathauserová

PERSONALIZOVANÉ VĚTRÁNÍ PRO PRACOVIŠTĚ DISPEČERA....118
Vojtěch Mazanec, Karel Kabele

EXPERTNÍ SYSTÉM PRO ANALÝZU PROVOZU VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK....124
Ondřej Nehasil, Daniel Adamovský, Jan Široký

ZÁSADY SOUČINNOSTI POŽÁRNÍHO VĚTRÁNÍ S OSTATNÍMI POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍMI ZAŘÍZENÍMI....130
Jiří Pokorný

PŘÍVOD VZDUCHU S NEJNIŽŠÍ MOŽNOU INDUKCÍ....137
Zdeněk Příhoda, Michal Bureš, Lukáš Kadrmas

SPOTŘEBA ENERGIE NA CHLAZENÍ BUDOV....142
Jakub Šimek, Miloš Lain

AUTOMATIZOVANÁ KONTROLA PROVOZU SYSTÉMŮ TZB....148
Jan Široký

ENERGETICKY ÚSPORNÁ OPATŘENÍ V AREÁLU AKVAPARKU V ČESTLICÍCH....155
Roman Šmíd

NORMATIVNÍ NOVINKY POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB PRO OBLAST VZDUCHOTECHNIKY A POŽÁRNÍHO VĚTRÁNÍ....162
Stanislav Toman

MOŽNOSTI VYUŽITÍ INTERNETU VĚCÍ V ZAŘÍZENÍCH VZT....172
Jan Vidim, Martin Chlupáč

ZÁKLADNÍ ŘEŠENÉ PROBLÉMY V OBORU INTEGROVANÉ SYSTÉMY V BUDOVÁCH....179
Martin Zálešák, Stanislav Sehnálek, Hana Charvátová, Pavel Drábek, Martin Koláček, Jiří Vincenec, Jan Skovajsa

VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ ŠKOL - MOŽNOSTI VĚTRÁNÍ VE ŠKOLSKÝCH OBJEKTECH....185
Zdeněk Zikán

PŘÍMÉ VOLNÉ CHLAZENÍ DATOVÝCH CENTER....193
Vladimír Zmrhal

NÁVRH ENERGETICKY ÚSPORNÉ VZT JEDNOTKY....202
Petr Žemlička

FIREMNÍ PŘÍSPĚVKY

TEPELNÁ ČERPADLA SE SYSTÉMY PLOŠNÉHO VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ....206
Martin Horský, ALPHATEC comfort systems

ABB PŘISPÍVÁ K ÚSPORÁM PROVOZNÍCH NÁKLADŮ V HVAC (VĚTRÁNÍ, VYTÁPĚNÍ A KLIMATIZACE)....212
Petr Bleha, ABB

INVERTOROVÉ VZDUCHEM CHLAZENÉ CHLADIČE KAPALINY A TEPELNÁ ČERPADLA VZDUCH/ VODA CARRIER 30RBV/30RQV....215
Ivan Škop, AHI Carrier CZ

PŘÍMÉ ADIABATICKÉ ZVLHČOVÁNÍ PRO PRŮMYSLOVÉ A KOMFORTNÍ PROSTŘEDÍ..218
Petr Andres, Flair

JANKA ENGINEERING, S. R. O. - VÝZNAMNÝ KROK KE KVALITĚ.....223
Janka Engineering

OPTIMALIZACE FILTRACE, SNIŽOVÁNÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ.....226
Jan Berger, Petr Hrubý, KS Klima-Service

PĚT KLÍČOVÝCH TECHNOLOGIÍ NOVÉHO LG ELECTRONICS
VRF SYSTÉMU MULTI V 5 229
Karel Dufek, LG ELECTRONICS

ZPŮSOB ŘEŠENÍ VĚTRÁNÍ CHRÁNĚNÝCH ÚNIKOVÝCH CEST.....233
TROX Austria GmbH

KLAPKY PRO SYSTÉMY ODVODU KOUŘE A TEPLA VÝROBCE MANDÍK, A. S. 237
Jan Kontra, Mandík

CFD MODEL VENTILÁTOROVÉ KOMORY SESTAVNÉ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY.....244
Petr Zelenský, Martin Barták, Vladimír Zmrhal, Radislav Krupa

ADAPTIVNÍ VĚTRÁNÍ KE ZLEPŠENÍ PODMÍNEK VNITŘNÍHO MIKROKLIMA: PŘÍPADOVÁ STUDIE POUTNÍ KAPLE SVATÝCH SCHODŮ

Michala Balounová, Karel Kabele
ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra technických zařízení budov
michala.balounova@fsv.cvut.cz, kabele@fsv.cvut.cz

ANOTACE
V příspěvku je prezentována studie Poutní kaple Svatých schodů v Rumburku, ve které byly zjištěny vysoké hodnoty vzdušné vlhkosti vedoucí k degradaci interiéru. Za účelem stanovení počátečních podmínek a pochopení tepelně vlhkostních procesů v kapli, byl proveden monitoring teploty a relativní vlhkosti v dostatečném časovém období. Naměřená data posloužila jako základ pro kalibraci zjednodušeného numerického modelu v MS Excel, který ve zjednodušené podobě funguje na fyzikálních principech zachování energie. V tomto modelu byl pak aplikován vhodný algoritmus pro intenzitu výměny vzduchu a tím tak stanovený předpoklad vlivu na kvalitu vnitřního prostředí a celkovému snížení množství vzdušné vlhkosti.

ÚVOD
Historicky cenné interiéry vyžadují zvláštní pozornost z hlediska kvality vnitřního prostředí, kde tepelně – vlhkostní složka hraje významnou roli. Zásadní vliv na uchování kulturní památky představuje hodnota relativní vlhkosti, zejména pak její výkyvy v čase. Neméně důležitou složku představuje teplota vzduchu a povrchová teplota. Bohužel v mnoha případech leží tyto parametry daleko za hranicí tolerované zóny, v nejčastějších případech se setkáváme s neúnosně vysokými hodnotami relativní vlhkosti způsobené jednak konstrukčními problémy, ale i množstvím uživatelů (návštěvníků památky) produkující vlhkost. V takových případech je nutné navrhnout opatření, která by vedla ke zlepšení podmínek.

Historické interiéry obsahují hydroskopické materiály, jejichž množství vlhkosti je přímo závislé na hodnotě relativní vlhkosti okolního vzduchu [2]. Změny relativní vlhkosti okolního vzduchu vedou ke snížení, nebo naopak zvýšení obsahu vlhkosti v materiálu a mohou tak způsobit jeho nevratné poškození [3]. Z tohoto pohledu by mohla ideální řešení představovat instalace klimatizačních systémů, která dokáže udržet přesné požadované parametry. Nicméně toto řešení je pro mnoho objektů z hlediska provozních nákladů naprosto neúnosné a často i těžko proveditelné [4]. V takovém případě se nabízí využití adaptivního větrání, které, při správné definici algoritmu, dokáže vést ke zlepšení podmínek s minimální vloženou energií.

V příspěvku je prezentován návrh zjednodušeného numerického modelu, který popisuje skutečné chování objektu v odpovídajícím detailu. Úlohou modelu je najít vhodný algoritmus, který by indikoval kdy otevřít okno a jak ho regulovat, tak aby došlo ke zlepšení sledovaných parametrů. Cílem příspěvku je pomocí zjednodušeného modelu ověřit hypotézu, že lze zlepšit kvalitu vnitřního prostředí pomocí aplikace vhodného algoritmu adaptivního větrání.

PŘÍPADOVÁ STUDIE
Poutní kaple Svatých schodů je součástí kulturní památky Loreta v Rumburku a je zapsána jako jedna z míst poutní cesty „Via Sacra“. Přestože kaple prošla v nedávné době rozsáhlou rekonstrukcí, její interiér v důsledku působení nadměrné vzdušné vlhkosti vykazuje známky poškození. Ke stanovení tepelně vlhkostních poměrů byl proveden monitoring v období

8. listopadu až 20. června a následně byl objekt podroben analýze stavu, jejíž výsledky byly prezentovány v [5]. Zde byl potvrzen předpoklad přísunu vzdušné vlhkosti z okolního ambitu. Výsledky analýzy ukázaly, že přirozené větrání v určitém časovém období by mohlo přispět ke zlepšení vlhkostních poměrů v kapli.

TEORIE

Vhodné vnitřní prostředí v historických objektech spočívá především k zajištění vlhkostní rovnováhy hydroskopických materiálů v interiéru s okolním vzduchem, kdy se změna měrné vlhkosti materiálů odráží na jejich rozměrech. Důsledkem vystavování interiéru působení vzduchu s vysokou relativní vlhkostí je zvětšení objemu materiálu a tím i jeho poničení. Na druhou stranu přirozené větrání (např. oknem) vede ke značným výkyvům relativní vlhkosti a tím způsobuje škody v důsledku neustálého smršťování a zvětšování objemu materiálu interiéru [6]. Adaptivní větrání bere v úvahu změny teploty a vlhkosti interiéru a exteriéru a na základě vyhodnocení okamžitého stavu doporučí zajištění přísunu čerstvého vzduchu. Adaptivní větrání nenahrazuje plnohodnotnou klimatizaci, která je využívaná pro přesné řízení prostředí, ale snaží se zlepšit podmínky vnitřního prostředí v objektech.

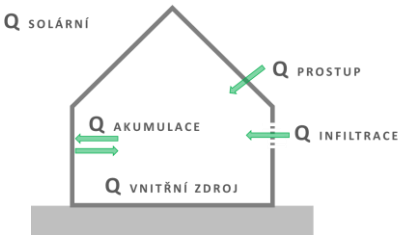
Tolerovaná zóna vnitřního prostředí

Parametry vnitřního prostředí pro historické objekty jsou definovány v ASHRAE standard [1], kde jsou rozděleny do jednotlivých kategorií dle míry rizika poškození interiéru. Mírné, a tudíž přijatelné, riziko definuje kategorie B s odchylkou ±10 % RH a ±5 K od ideálních hodnot 50 % RH a 20 °C. Extrémně vysoké riziko představuje kategorie D pro hodnoty relativní vlhkosti vyšší než 75 % [1]. Zároveň je nutné kontrolovat maximální výkyv během dne, kdy je za kritickou považován větší rozdíl hodnot než 15 % RH.

Zejména u masivních konstrukcí, kterými jsou historické budovy charakteristické, je nutné zabránit kondenzaci na jejich površích. Tento jev nastává obzvláště v přechodném období, kdy vlhký vzduch kondenzuje na stále prochladlém povrchu zdi.

Tepelná bilance

Tepelná bilance objektu, vyjádřena na schématu (obr. 1), znázorňuje tepelné toky ovlivňující celkovou energii prostoru. Ze zákona zachování energie platí, že tepelné toky musí být vždy v rovnováze s celkovou tepelnou energií prostoru.



Obr. 1 *Schéma tepelných toků v objektu*

Tepelná rovnováha je platná v každém časovém kroku. Z tohoto důvodu můžeme říct, že celková tepelná energie prostoru v čase $\tau_{(x-1)}$ se započtení tepelných toků je roven celkové tepelné energii prostoru v čase τ_x. Tepelná bilance prostoru proto lze napsat dle (1).

$$Qcelk_{\tau(x-1)} + Qprost + Qinf + Qaku + Qzdroj + Qsol = Qcelk_{\tau(x)} \quad (1)$$

kde: Qcelk = celková tepelná energie prostoru [J]
Qpros = tepelná energie dodaná do interiéru na základě prostupu konstrukcí [J]
Qinf = tepelná energie zahrnující infiltraci a větrání [J]

Qaku = tepelná energie zahrnující teplo naakumulované do konstrukcí [J]
Qzdroj = tepelná energie dodaná přidaným zdrojem [J]
Qsol = tepelná energie získaná solárním zářením [J]

Metody modelu

K modelování chování budov lze použít různé metody. Většina současných software dostupných na trhu (např. DesignBuilder, WUFI, atd.) pracuje na principu explicitních metod, kdy jsou známy parametry vlastností objektu a výpočtem lze dospět k popisu chování objektu. Ve chvíli kdy je známé chování budovy, ale část vstupních parametrů chybí, se používají regresní metody. Jednou z regresních metod, popisující nelineární funkci, je metoda neuronových sítí.

Úkolem regresní analýzy je nalezení vhodné teoretické regresní funkce k vystižení sledované závislosti, určení bodových, popř. intervalových, odhadů regresních koeficientů, určení odhadů hodnot regresní funkce pro účely prognostické a ověření souladu mezi navrženou regresní funkcí a experimentálními daty [7].

V případě zkoumání parametrů tepelně vlhkostního mikroklima jsou závisle proměnnými veličinami T_i, x_i *a* T_m, které jsou funkcí (2), (3) a (4).

$$Ti,\tau_{(x)} = Ti,\tau_{(x-1)} + f(m,c,A,U,Te,Tm,h,\rho,d,Ve,Vi) \quad (2)$$

$$xi,\tau_{(x)} = xi,\tau_{(x-1)} + f(c,A,bm,xe,Ti,\Delta p_v,Vi,Ve) \quad (3)$$

$$Tm,\tau_{(x)} = Tm,\tau_{(x-1)} + f(c,A,h,U,Te,Ti,\rho,d,Vi,Ve) \quad (4)$$

MODEL A JEHO KALIBRACE (4)

Zjednodušený numerický model, vytvořený v MS excel, pracuje na principu regresní metody, kdy na základě naměřených dat byl model kalibrován pro období v délce 10 dní a poté ověřen s dalšími naměřenými daty. Výpočet závisle proměnných veličin T_i a T_m byl stanoven na principu tepelné rovnováhy. Výpočet hledané veličiny x_i zohledňuje množství venkovní vlhkosti a schopnost materiálu pohltit vlhkost. Vzhledem k náročnosti celé problematiky týkající se akumulace vlhkosti ve zdivu, byl tento parametr stanoven regresní metodou z naměřených dat jako funkce parciálního tlaku vodní páry. Tento předpoklad byl dále ověřen v software DesignBuilder, který generoval shodné hodnoty se zjednodušeným modelem v MS excel.

Pro správnou funkci modelu je zásadní zvolení vhodného časového kroku, kdy je nutné, aby časový interval nebyl příliš dlouhý. Popisovaný model pracuje s 5-ti minutovým krokem, který odpovídá časovému kroku dat získaných z dataloggerů při monitoringu objektu. Do modelu byla aplikovaná dodatečná vlhkost v množství, které odpovídá skutečnosti zjištěné v předchozí analýze publikované v [5].

V současné době model neumí zohlednit možnosti přirozeného větrání a je pouze nastaven na dva módy (infiltrace: 0,2 h^{-1}, nebo infiltrace s větráním: 1,5 h^{-1}). Stanovení násobnosti výměny vzduchu na základě rozdílů teplot a účinku větru je předmětem dalšího zkoumání.

Okrajové podmínky větrání

Model, který si dává za cíl snížit hodnotu vzdušné vlhkosti v interiéru, uvažuje s přísunem čerstvého vzduchu na základě těchto podmínek:

$$T_i < T_e \wedge T_i < 25 \Leftrightarrow \text{„}OPEN\text{“} \quad (5)$$

$$x_i > x_e \wedge RH_i \Leftrightarrow \text{„}OPEN\text{“} \quad (6)$$

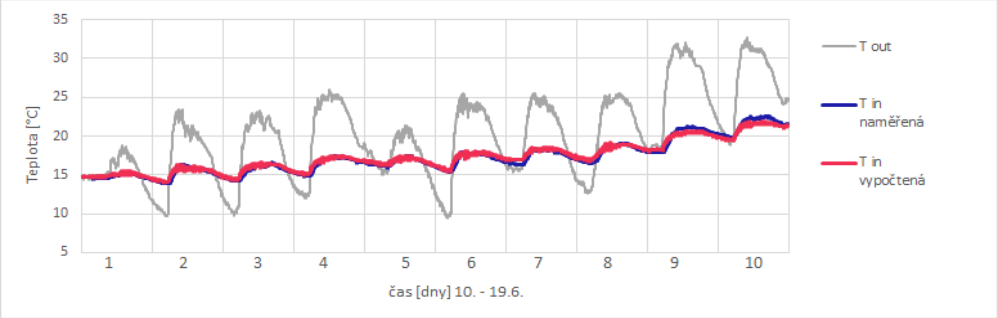
$$\left|max(RH_{\tau,0} - RH_{\tau,30min}) - min\left(RH_{\tau,0} - RH_{\tau,30min}\right)\right| > 1{,}5 \Leftrightarrow \text{"}CLOSE\text{"} \quad (7)$$

$$T_{r,i} > T_p \Leftrightarrow \text{"}CLOSE\text{"} \quad (8)$$

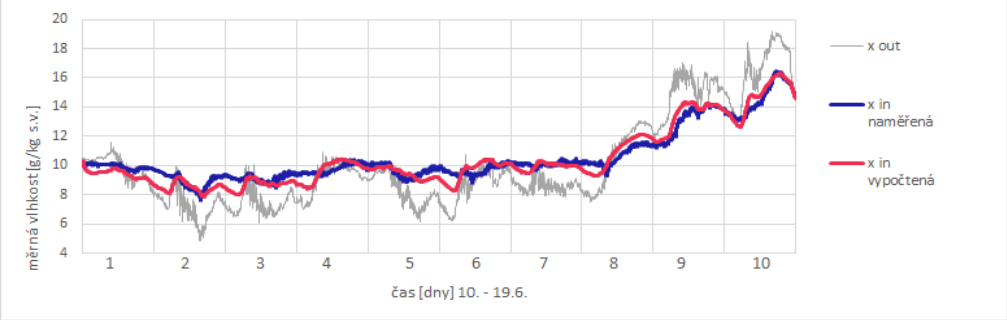
Je-li alespoň jedna z podmínek vyhodnocena do módu „CLOSE“, model uvažuje pouze s infiltrací.

Výsledky kalibrace

Grafy (obr. 2), (obr. 3) ukazují výsledky kalibrace modelu pro období 10.6. – 19.6. Výsledky teploty vzduchu jsou téměř totožné s naměřenými hodnotami ve všech dalších obdobích, které byly po kalibraci ověřeny. Hodnoty měrné vlhkosti vykazují přijatelné odchylky. Tyto rozdíly lze jednak přisoudit značnému zjednodušení rozsáhlé problematiky akumulace vlhkosti do zdiva a nelineárnímu ovlivnění naměřených hodnot dodatečnou vzdušnou vlhkostí přicházející z přiléhající chodby.



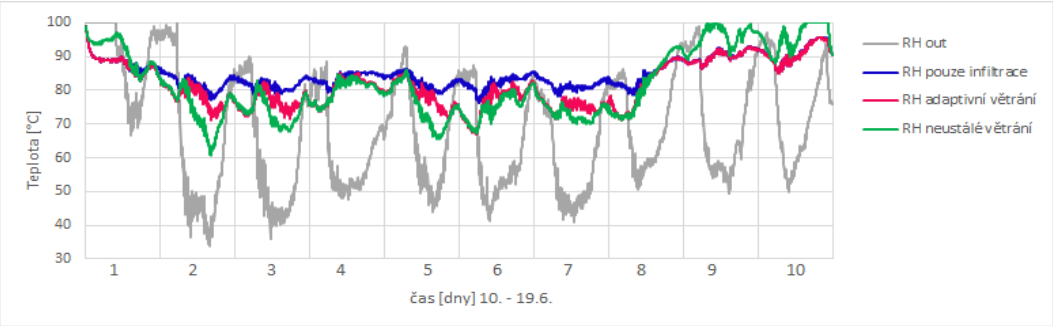
Obr. 2 *Porovnání naměřených a vypočtených hodnot teploty vzduchu v kapli*



Obr. 3 *Porovnání naměřených a vypočtených hodnot měrné vlhkosti vzduchu v kapli*

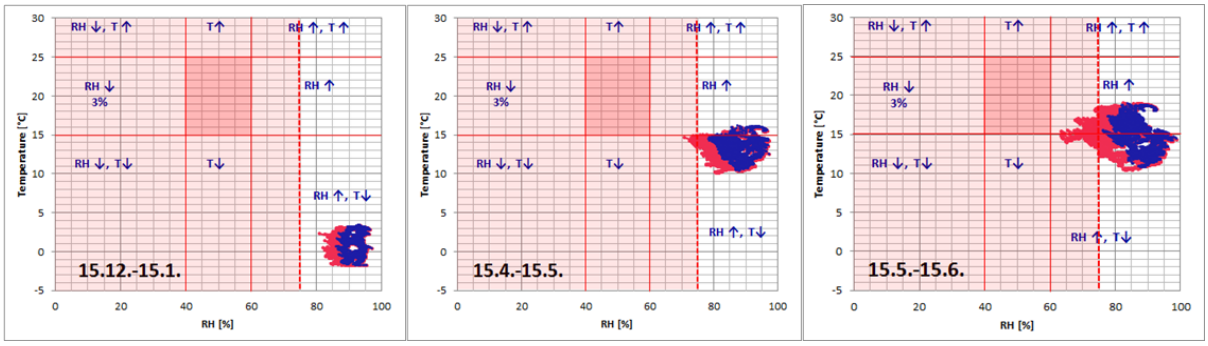
VÝSLEDKY

Graf na obr. 4 zhodnocuje tři možné stavy větrání na vybraném období 10 dní: pouze infiltrace 0,2 h^{-1}, adaptivní větrání a neustálé větrání 1,5 h^{-1}. Výsledky relativní vlhkosti bez větrání vykazují sice nejvíce konstantní hodnoty, nicméně tyto hodnoty téměř nikdy neklesnou pod kritickou hodnotu 75 % RH. Výsledky neustálého větrání vykazují extrémní výkyvy hodnot dosahující skoro 30 % RH během dne a v některých případech vedou i ke zvýšení vlhkosti. Adaptivní větrání představuje přijatelnou rychlost poklesu RH a v části sledovaného období vede ke snížení vlhkosti.



Obr. 4 *Porovnání různých módů větrání během vybraného období 10 dní*

Celkové zhodnocení vlivu adaptivního větrání bylo provedeno pomocí tzv. Performance index, který znázorňuje, kolik procent času leží hledané parametry (v tomto případě T a RH) v tolerované zóně [9]. Jednotlivé grafy představují vždy jeden měsíc v zimním, přechodném a letním období. Hodnoty s adaptivním větráním vykazují přesun k nižším hodnotám a blíže do oblasti mimo kritickou zónu.



Obr. 5 *Porovnání vypočtených hodnot T a RH (tmavé body: s infiltrací; světlé body: s aplikací adaptivního větrání)*

DISKUZE

Všeobecné povědomí o nutnosti větrat je poměrně rozšířené, přesto je velmi zásadní větrání správně načasovat. Bez dodržení základních podmínek, může mít přirozené větrání pro interiér spíše negativní účinky.

Dle předpokladu nelze od adaptivního větrání očekávat zásadní změnu vnitřního prostředí, přesto výsledky ukazují, že je možné dosáhnout zlepšení s minimálními náklady na provoz. Toto zlepšení nelze očekávat u všech budov. Je předpoklad, že aplikace adaptivního větrání bude mít pozitivní vliv zejména u staveb se zdrojem vlhkosti v interiéru, ta může představovat pohyb osob nebo konstrukční vadu, kterou není možné okamžitě odstranit. V takovém případě by mohlo adaptivní větrání představovat cestu, jak levně dosáhnout ještě přijatelných parametrů, které by neohrožovali interiér.

Následný vývoj modelu se bude dále věnovat otázce limitu přirozeného větrání a hodnotě intenzity výměny vzduchu, které je závislé pouze na rozdílu tlaků vzduchu pro interiér a exteriér. V neposlední řadě je vhodné model ověřit měřením.

ZÁVĚR

Prezentovaný zjednodušený model vytvořený v MS excel dokazuje, že při zvolení vhodného algoritmu, může mít přirozené větrání příznivý efekt na kvalitu vnitřního prostředí. Model byl vytvořen regresní metodou pomocí naměřených dat T a RH v objektu i exteriéru. V příspěvku

byly popsány okrajové podmínky, které je nutné dodržet, aby nedošlo k poškození interiéru vlivem náhlé změny a velkého množství venkovního vzduchu. Modelem bylo zjištěno, že adaptivní větrání má největší efekt pro objekty se zdrojem vlhkosti v interiéru. Zároveň byl ověřen předpoklad o různé efektivitě v jednotlivých období, kdy zejména v zimním období je vliv na parametry RH minimální.

LITERATURA

[1] ASHRAE, Museum, libraries, and archives, ASHRAE Applications Book (SI), chapter 21, 2007

[2] ZÍTEK, P., VYHLÍDAL, T., FIŠER J., TORNARI V., BERNIKOLA, E., TSIGARIDA, N., Diffusion – model – based risk assessment of moisture originated wood deterioration in historic building, *Energy and Environment 94 (2015) 218 - 230*,

[3] PAVLOGEORGATOS, G., Environmental parameters in museums, *Building and Environment 38 (2003) 1457 – 1462*

[4] FILIPPI, M., Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy, *Energy and Buildings 95 (2015), 15 – 22*

[5] BALOUNOVA, M., KABELE, K., Vyhodnocení rizika kondenzace a kvality vnitřního prostředí v poutní kapli Svatých schodů, *Simulace budov a techniky prostředí 2016, 9. konference IBPSA – CZ*

[6] ČERNÝ, M., NĚMEČEK, M., Mikroklima v historických interiérech, *Národní památkový ústav – odborné a metodické publikace 2011*

[7] KINDLER, E., KŘÍVÝ, I., Simulace a modelování, *Ostravská univerzita – výuková skripta 2011*

[8] RODE, K, et al, Moisture buffering of building material, *Technical University of Denmark 2005*

[9] CORGNATI, S.P., FILIPPI, M., PERINO, M., A new approach for the IEQ (Indoor Environmental Quality) assessment, *Research in Building Physics and Building Engineering, Proceeding of 3 rd International Conference on Research in Building Physics IBPC 2006, Montreal*

SEZNAM OZNAČENÍ

c	měrná tepelná kapacita	[$J.kg^{-1}.K^{-1}$]
Ti	teplota vzduchu v interiéru	[°C]
Te	teplota vzduchu v exteriéru	[°C]
Tm	teplota hmoty	[°C]
Tr	teplota rosného bodu	[°C]
RH	relativní vlhkost	[%]
ρ	hustota	[$kg.m^{-3}$]
A	plocha	[m^2]
Vi	objem vzduchu v interiéru	[m^3]
Ve	objem venkovního vzduchu	[m^3]
U	součinitel prostupu tepla	[$W.m^{-2}.K^{-1}$]
d	účinná tloušťka	[m]
h	součinitel přestupu tepla	[$W.m^{-2}.K^{-1}$]
xi	měrná vlhkost vzduchu v interiéru	[$kg.kg^{-1}$]
xe	měrná vlhkost vzduchu v exteriéru	[$kg.kg^{-1}$]
Δp_v	rozdíl parciálních tlaků vodní páry	[Pa]
bm	moisture effusivity [8]	[$kg.m^{-2}.Pa.s^{1/2}$]
τ	čas	[s]

Tento příspěvek byl podpořen grantem SGS 14/117 / OHK1 / 2T / 11.

PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI S PŘEJÍMKAMI STAVEB

Ing. Jaroslav Bambous
bambous@email.cz

ABSTRAKT

Přejímky staveb neslouží jen k ověření, zda stavba obsahuje vše, co si investor objednal a zaplatil. Účelem je i ověřit, zda objekt splňuje všechny požadované parametry - je schopen zajistit mikroklima prostředí bez ohledu na venkovní teploty, vyhovuje požadavkům na bezpečnost práce požární ochrany apod.

Vlastní přejímky se provádí většinou v časové tísni a investor z neznalosti nebo z časových důvodů opomine některé provozní zkoušky a nezajistí si podklady, které bude následně potřebovat pro provozování objektu.

Přednášející na základě zkušeností z provádění přejímek konkrétních budov chce upozornit na některé opakované nedostatky a připomenout, co přejímky musí obsahovat, jaké podklady jsou předmětem předání a na co je třeba si dát pozor zejména z hlediska následujícího provozu budovy. Současně budou zmíněné vybrané, často se opakující závady staveb.

PODMÍNKY PRO ÚSPĚŠNÉ PŘEJÍMKY STAVEB

Předání stavby je poslední etapou procesu výstavby objektu, při které je třeba prokázat, že stavba je provedena podle projektové dokumentace pro provedení stavby se schválenými změnami a v dohodnuté kvalitě. V průběhu přejímek se ověřuje schopnost stavby a zejména technického zařízení budovy plnit jednotlivé parametry dle zadání stavby a požadavky předepsané legislativou případně podmínky Stavebního povolení.

Vlastní předávání stavby je prakticky vždy hektické. Vlastní stavba nebývá zcela dokončena (zejména systém měření a regulace, který bývá poslední etapou stavby) a na přejímky není zpravidla zcela připraven ani investor, který nemá k dispozici technicky fundovaný personál a budoucího provozovatele. Je zásadně důležité, aby se přejímek za dodavatele zúčastnili pracovníci, kteří budou objekt a zejména jeho technické zařízení provozovat. Ti mají osobní zájem, aby předávané zařízení bylo v pořádku a plně funkční, protože v přehlédnuté závady budou nuceni složitě reklamovat nebo sami odstranit. Rovněž si ohlídají kompletnost předané dokumentace. Vady zjištěné při přejímkách se sice většinou podaří odstranit, ale reklamace se ne vždy daří uplatňovat v plném rozsahu, zvláště když není ve smlouvě s dodavatelem zakotveno zádržné.

Základní podmínkou pro zvládnutí přejímek je kromě dokončení stavby vlastní příprava obsahující přesný program přejímek, kompletní podklady a účast všech členů, kteří jsou za stavbu, investora a provozovatele na jednotlivé části přejímek určeni.

První částí přejímek jsou dílčí přejímky, při kterých se má ověřit kompletnost dodávky a funkčnost jednotlivých komponentů.

Komplexní zkoušky je pak možné provést až po úplném dokončení všech technologií, zejména měření a regulace a po ukončení dílčích přejímek. Zkoušky musí prokázat funkčnost všech technických zařízení jako celku a splnění parametrů dle zadání objednatele a projektové dokumentace. Je nutno vyzkoušet ***všechny*** funkce jednotlivých zařízení a vzájemné vazby. Např. při zkoušce požárního poplachu se ověřuje slyšitelnost evakuačního rozhlasu, reakce výtahů, odstavení vzduchotechniky v dané oblasti, uzavření požárních klapek a funkci

zařízení na odvod tepla a kouře. Dále je třeba ověřit funkce mrazových ochran spočívající v kontrole reakcí na alarm. Kontrolu nestačí provést jen podle aktivních schémat v systému měření a regulace, ale ověřit i fyzicky, zda a jak jsou namontována čidla teplot a jestli se provedou předepsané činnosti (uzavření klapek na vstupu VZT, otevření ventilů na topení a start čerpadel apod.)

Samostatnou částí přejímek je předání dokumentace stavby. Přitom je vždy třeba ověřit úplnost, a i pravdivost dokumentace, která je předávána.

DOKUMENTACE

Příklad soupisu předané dokumentace (výběr pro TZB)

Všeobecně

1. Prohlášení dodavatele stavby o kompletnosti a jakosti dodávky dle Stavebního zákona
2. Kopie živnostenského listu společnosti včetně oprávnění k provádění vybraných činností
3. Kopie výpisu z obchodního rejstříku společnosti
4. Projekt skutečného provedení + seznam odchylek a změn od PD
5. Prohlášení o shodě všech výrobků
6. Protokol o likvidaci odpadů
7. Provozní řád budovy, Provozní řády technologií
8. Návody k obsluze všech technologií
9. Zaškolení obsluhy
10. Protokoly o měření hluku

Vzduchotechnika

11. Prohlášení o shodě klimatizačních jednotek, ventilů, pohonů, vyústek, klapek, potrubních systémů, tlumičů, difuzorů, potrubních systémů, tepelných izolací, upevňovacích systémů
12. Manuály k zařízením
13. Kniha požárních klapek
14. Protokol o měření a zaregulování VZT

Vytápění a chlazení objektu

15. Oprávnění montážní organizace, seznam svářečů, protokol o zkoušce svárů
16. Pasport kotlů
17. Manuály k zařízení a techn obchodní specifikace
18. Protokol o zkoušce těsnosti – kompletní rozvody ÚT
19. Protokol o zkoušce těsnosti – kompletní rozvody CHL a přípojek FCU
20. Protokol o proplachu potrubí rozvodu chlazení
21. Protokol o topné zkoušce
22. Prohlášení o shodě kohoutů, vypouštěcích kohoutů, ventilů, hadic izolace, upevňovacích systémů,
23. Provozní řád a schéma kotelny

Rozvody plynu

24. Osvědčení plynového spotřebiče
25. Manuály k zařízení
26. Zápis o tlakové zkoušce plynového zařízení
27. Zpráva o výchozí revizi
28. Oprávnění montážní organizace

Zdravotně technická zařízení

29. Certifikáty potrubí, izolace
30. Prohlášení o shodě ohřívače, ventilů, odpadových armatur, potrubí, potrubní a upevňovací systém, izolace
31. Manuály k zařízení a techn obchodní specifikace, ohřívač, zásobníkový ohřívač, armatury, potrubí, izolace
32. Protokol o zkoušce těsnosti – vnitřní vodovod
33. Protokol o zkoušce těsnosti vnitřní splaškové kanalizace
34. Protokol o zkoušce těsnosti odvodu kondenzátu

Elektro silnoproud

35. Zpráva o výchozí revizi el. Instalace
36. Protokol o měření intenzity umělého osvětlení
37. Protokol o měření nouzového osvětlení
38. Protokol o zkoušce NO
39. Protokol o kusové zkoušce rozvaděče
40. Prohlášení dodavatele o použitých materiálech

Měření a regulace

41. Zpráva o revizi elektrického zařízení
42. Osvědčení o jakosti a komplexnosti zařízení
43. Certifikát (počítač, servopohony, snímače teploty, regulátory tlaku, teploty atd.

Slaboproudy

44. Měřící protokoly (poč. síť)
45. Certifikace systému integrovaných datových rozvodů
46. Protokol o vyzkoušení zařízení

Požární zabezpečení objektu

47. Protokol o funkčních zkouškách EPS a všech navazujících zařízení - DA, odvod kouře a tepla, VZT, otevření všech únikových cest
48. Schémata ovládání jednotlivých zařízení
49. Označení únikových cest
50. Dodání a rozmístění ručních hasicích přístrojů + schéma rozmístění
51. Certifikát těsnění prostupů
52. Plánek prostupů

Zvláštní pozornost je třeba věnovat předávané projektové dokumentaci. Provozovatel musí mít k dispozici dokumentaci skutečného provedené stavby, kterou je nutno předem smluvně zajistit a detailně zkontrolovat, zda je kompletní a odpovídá skutečnosti. (Předkládá se i ke kolaudaci.) Běžnou praxí je, že dodavatel pouze označí projekt pro provedení stavby razítkem „Dokumentace skutečného provedení“ a tváří se, že je vše v pořádku. Součástí předávané dokumentace musí být i výpočty, zejména statický výpočet. Dokumentace by měla být předána jak v „papírové“ podobě tak v elektronické verzi. Minimálně jednu verzi všech dokladů by měl archivovat majitel objektu. Je téměř pravidlem, že firma provozující objekty na základě smlouvy při ukončení své činnost veškeré jí předané projekty a doklady zlikviduje. Kopie je pak prakticky nemožné znovu získat. Majitel objektu by si měl po zahájení provozu zajistit provádění aktualizace projektové dokumentace po provedení změn v objektu Dokumentace v elektronické podobě umožňuje snadno zakreslovat veškeré změny, které se na objektu provádějí a snadno archivovat současný stav v elektronické podobě. Změny je třeba zanést do kompletní dokumentace. Vydávání dodatků je pro používání provozovatelem velmi nepřehledné.

Podrobný protokol o zaregulování vzduchotechniky vůbec neznamená, že vzduchotechnika byla zaregulovaná a je třeba alespoň namátkově naměřené hodnoty ověřit. Není vzácností, že součástí protokolu jsou naměřené hodnoty na zařízení, které bylo v průběhy stavby zrušeno a nebylo vůbec namontováno.

POZNATKY Z PRAXE

Na základě praxe bych rád upozornil ne některé opakující se nedostatky:

- Kabely silnoproudé elektřiny a kabely slaboproudých rozvodů jsou v souběhu delším, než je povoleno. Následkem mohou být nevysvětlitelné poruchy v slaboproudých sítích
- Průchody kabelů ocelovými nosníky musí být ošetřeny proti prodření
- V rozvaděčích musí být příslušné schémata zapojení
- Není správně nebo vůbec provedeno vodivé pospojení potrubí vzduchotechniky a plynových potrubí.
- Sběrné jímky nebo kanálové vpusti zejména v kotelnách jsou nejvyšším bodem podlahy.
- V knize požárních klapek je výchozí revize i neexistujících klapek. (na tomto základě jsou pak opakovaně několikrát provedeny revize těchto klapek)
- Není provedena nebo doložena výchozí prohlídka ocelových konstrukcí dle ČS EN 73 2604. Tato norma i ukládá i provádění dalších periodických prohlídek
- Stavu ocelových konstrukcí je třeba věnovat větší pozornost. Zejména kvalitě svarů a dotažení šroubů
- Neexistuje plánek s označením požárních prostupů
- Není provedeno značení rozvodů topné, chlazené a užitkové vody a popisy na rozdělovačích
- Nejsou přístupy k uzávěrům vody a k čistícím kusům v odpadech.
- Průchody potrubí přes jiný požární úsek jmenovitě chodby nemusí být oddělen požárními klapkami. ale je možné potrubí opatřit požárně odolnou izolací. Tato izolace se vizuelně příliš neliší a je na dodavateli, aby doložil, že se skutečně jedná o izolaci splňující podmínky požární izolace

O provedení přejímek se vypracuje podrobný zápis se seznamem zjištěných vad a nedodělků včetně dohody o termínech kdy a kým budou uvedené vady odstraněny. Pokud se jedná o neodstranitelné závady, je třeba se dohodnout na způsobu kompenzace. Současně doporučuji vypracovat a oboustranně odsouhlasit jednoznačný seznam záručních dob všech jednotlivých zařízení. Protože venkovní teploty neumožní ověřit současně výkony vytápění a chlazení. Je třeba s dodavatelem uzavřít dohodu, kdy budou zbývající zkoušky provedeny.

A na závěr bych si dovolil jedno zdánlivě nesouvisející upozornění. Kolaudační souhlas neznamená, že požární zabezpečení objektu je v pořádku a nesnímá z provozovatele v rozporu s jeho častým přesvědčením, že jeho odpovědnost je v souladu s požárním zabezpečením objektu s projektem požárního zabezpečení a s legislativou platnou v době stavby!

BUDOUCNOST ZADÁVÁNÍ A REALIZACE STAVEBNÍCH ZAKÁZEK BIM V ČR

Radek Bašta
Graitec s.r.o.
basta@graitec.cz

Pojem BIM opravdu výrazným způsobem rezonuje naším odvětvím již sedm let. Rozhodně se nedá říci, že by to byly bezvýznamné posuny na již zažitém způsobu a postupu práce. Jak v posledních letech pozorujeme, má to velmi významný přesah do státní sféry. Ta i přes napovrch vyhlížející zkostnatělost a neochotou ukazuje snahu chytit nabídnutou příležitost. Důkazem toho je současná aktivita Ministerstva průmyslu a obchodu v čele s náměstkem ing. Jiřím Kolibou. To v minulých třech letech vypracovalo návrh pro vládu s názvem „Koncept zavádění BIM v ČR“, který měl být nejpozději do konce srpna 2017 předložen vládě. Jak efektivní tato snaha a kroky budou, ukáže jen čas. Za společnost GRAITEC mohu říci, že se v celé záležitosti intenzivně angažujeme. Jsme součástí pracovní skupiny, která sdružuje odborníky z celého oboru stavebnictví. Ta na pravidelných setkáních směřuje vývoj celého konceptu. Poslední pracovní skupina proběhla 15. 8. 2017 tentokrát výjimečně ne na půdě Ministerstva průmyslu a obchodu, ale v sídle Státního fondu infrastruktury. Přesun jednání je zároveň oficiálním vyjádřením podpory Státního fondu infrastruktury zavádění BIM V ČR.

CO JE BIM

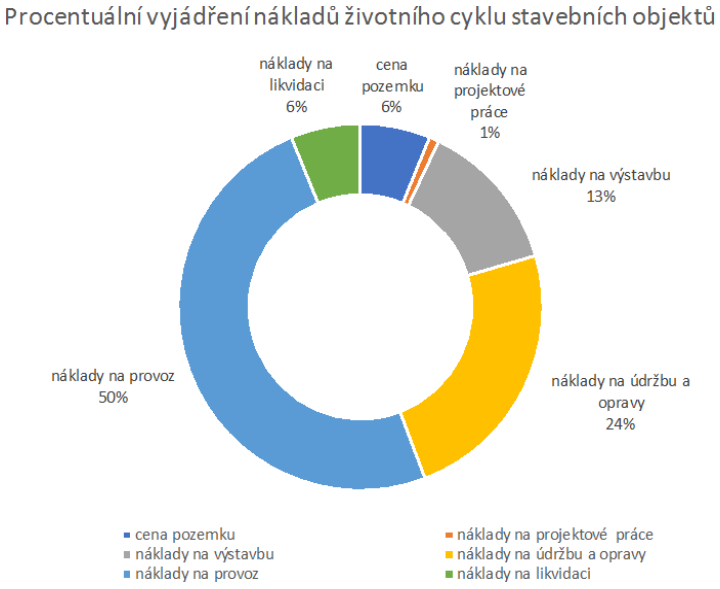
BIM je zkratka anglického názvu Building Information Modeling nebo také Building Information Management, jedním z občas zmiňovaných ne však moc používaných názvů je také Better Information Management. Nejpoužívanějším českým překladem je Informační model budovy. Pod všemi těmito názvy se skrývá jeden klíč, a tím je zmapování životního cyklu stavby (stavebního díla) od návrhu po její likvidaci.

Zvlášť bych upozornil na pojem „životní cyklus stavby“. Nejedná se pouze o budovy (jak by se z názvu mohlo zdát), tedy o pozemní stavby, ale také o stavby infrastruktury jako silnice, dálnice, železnice a další.

Životní cyklus stavby

- Návrh budovy ve všech jeho fázích
- Realizace stavby
- Náklady a údržba
- Provoz budovy
- Likvidace stavby

Graf na obr. 1 znázorňuje rozložení nákladů v celém životním cyklu stavby. Tím je jasně znázorněno, na jaké části celého životního cyklu BIM do budoucna jednoznačně míří.

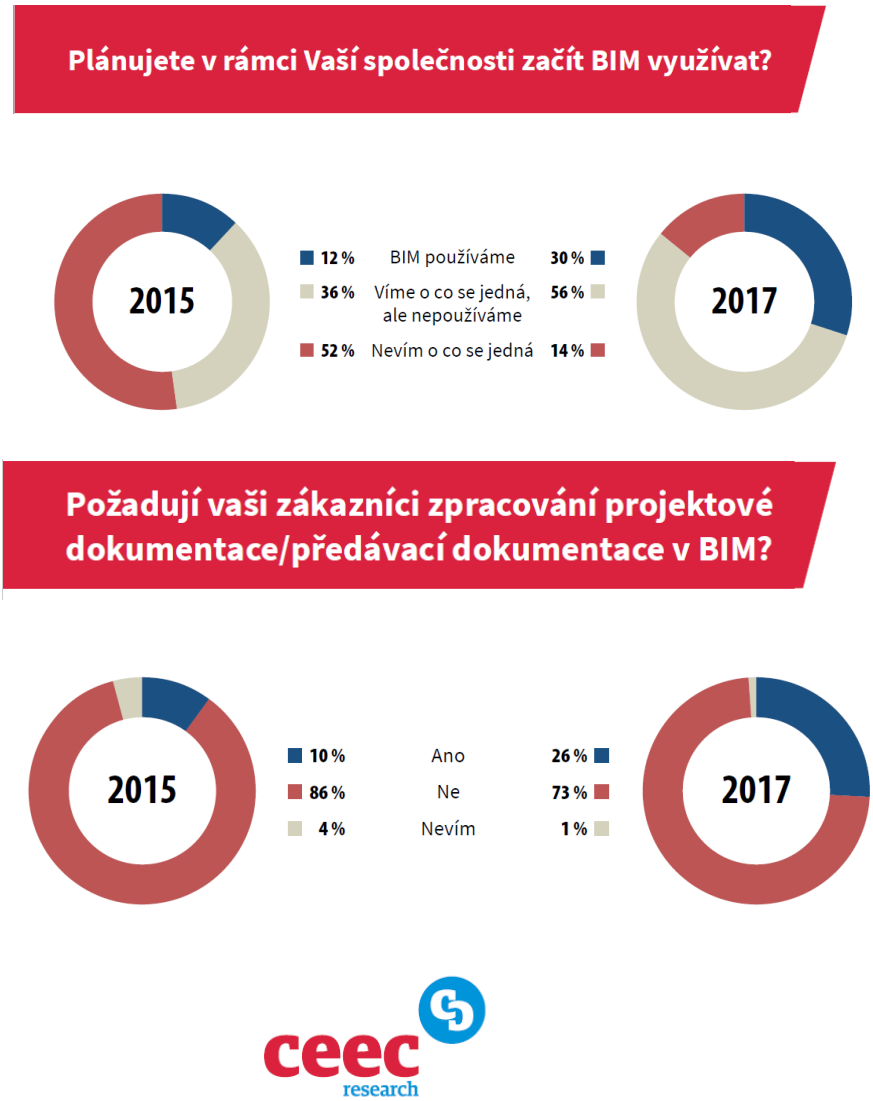


***Obr. 1** (zdroj www.TZBinfo.cz)*

V současnosti dosahuje BIM u většiny realizovaných projektů maximálně do 14 % nákladů celého životnostního cyklu stavby. Tím je samotná projektová část a výstavba. Pro vytěžení celého potenciálu BIM je jednoznačně nutné rozšířit použití BIM do dalších částí životního cyklu, a to především v odvětvích plánování údržby a oprav. Díky efektivnějším zásahům v údržbě budovy se očekává i úspora v nákladech na provoz staveb.

A ve které oblasti by se do budoucna mělo rozhodně přestat šetřit, kde by jakákoli úspora byla spíše negativním ukazatelem? Jsou to samotné projektové práce. Projektování v BIM technologii je bezpochyby náročnější. Hlavními aspekty přechodu na tuto technologii jsou naprostá změna prostředí, postupů, logiky, předávání dat a v neposlední řadě softwarového a hardwarového vybavení. To přináší navýšení personálních nároků. Také je třeba poznamenat, že BIM proces stojí a padá na správně a kvalitně zpracovaném modelu stavby. Proto se dá vnímat projekční prostředí jako strategické odvětví pro celý rozvoj BIM.

Jakým způsobem se vyvíjí situace v BIM z pohledu projekčních kanceláří? To ukazují výzkumy renomované společnosti CEEC research – viz obr. 2. Výzkum je prováděn kvartálně a každého dotazníkového šetření se účastní 100 respondentů. Otázky týkající se BIM jsou vyhodnocovány od roku 2015.



Obr. 2 *(zdroj CEEC research)*

Výsledky jasně ukazují, že posun celého odvětví za necelé tři roky je opravdu citelný. Především v pohledu na informovanost a chuti se o problematiku BIM zajímat. Rozhodně výsledky tohoto ražení vybízejí k optimizmu.

KONCEPCE ZAVÁDĚNÍ METODY BIM V ČR

Jak jsem v úvodu zmínil, Ministerstvo průmyslu a obchodu v minulých třech letech na základě usnesení vlády č. 958 o významu BIM pro stavební praxi vypracovalo dokument s názvem „Koncepce zavádění metody BIM V ČR“ (dále uváděn jako Koncepce). Koncepce vznikala za spolupráce Ministerstva dopravy a Státního fondu infrastruktury. Celá problematika byla konzultována se širokou skupinou zainteresovaných stran zastoupených v Meziresortní expertní skupině pro BIM (MES BIM), která byla ustanovena při MPO.

Posledním krokem ze srpna letošního roku je předložení Koncepce vládě České republiky. Byla zařazena do systému eKLEP a tím byl fakticky zahájen legislativní proces. Tomuto kroku předcházelo standardní mezirezortní připomínkové řízení, ve kterém došlo k vypořádání všech připomínek. Jedinou výjimkou je připomínka Ministerstva financí týkající se nákladů spojených s výdaji Ministerstva průmyslu a obchodu. Jedná se zejména o mzdové náklady, které tato agenda bude pro svou realizaci vyžadovat. Koncepce byla i přes nevypořádanou připomínku předána vládě ke schválení s výhradou. Rozhodně to neznamená stop celému konceptu, ale významnou komplikaci ano. Především to bude mít vliv na efektivním řízení a koordinaci mezirezortních procesů. Jedním z navrhovaných a na místě i zmíněných možností je založení neziskové organizace pro koordinaci BIM, jejímž správcem by byl ÚNMZ. Rozhodně to není způsob řízení konceptu, který by i v navrhovateli vzbuzoval přílišný optimismus a jistotu správné volby. Každopádně další kroky provede až nová vláda po říjnových volbách. Třeba se najde shoda i na financování celého procesu.

Samotná Koncepce je dokumentem s celkovým rozsahem 47 stran. Popisuje jednotlivé kroky a doporučení k zavedení BIM pro zadávání veřejných zakázek v České republice. Celý časový harmonogram startuje již roku 2017 a je rozvržen až do roku 2027, kdy by měl celý proces vyvrcholit. Podle zkušeností ze zahraničí je při dobré koordinaci tento plán reálný.

Neopomenutelnou součástí Koncepce je tvorba technických norem nebo přejímání norem řady EN. Tento proces byl již fakticky zahájen v roce 2016. Na národní úrovni byla na ÚNMZ založena v roce 2016 technická normalizační komise TNK 152 „Organizace informací o stavbách a informační modelovaní staveb (BIM)“.

Není tím samozřejmě řečeno, že ostatní kroky v legislativních změnách nejsou potřebné. Koncepce sama s legislativními změnami počítá a vyjmenovává jednotlivé zákony (případně konkrétní vyhlášky), kterých se to má bezprostředně dotýkat. V některých případech i s určitým velmi obecným doporučením. Například Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) ve znění pozdějších předpisů bude procházet v následujících letech novelizací. Z tohoto důvodu bude nutné zahrnout případné potřebné změny v souvislosti s celkovými změnami. Je to rozhodně jeden z bodů koncepce, který bude vyžadovat pozornost.

Celý dokument bude v případě přijetí vládou České Republiky na zasedání konané 10. září 2017 zveřejněn do konce září.

DOKUMENT BEP

A jakým způsobem postupovat při zadávání a tvorbě smluvních vztahů u zakázek s požadavkem BIM již dnes? Velmi zajímavou cestu se ukazuje být dokument BEP!

BIM Execution Plan (BEP) je smluvní dokument s jasnými a předem definovanými rozsahy všech součástí BIM projektu. Jednoduše řečeno, je to manuál na řízení BIM projektu. Jsou zde mimo jiné definovány vztahy celého dodavatelského řetězce s požadavky na jednotlivé části projektu včetně termínů předání atd. V jakých typech souborů budou jednotlivé části projektu předávány? Jaký a jaká verze SW bude využita jednotlivými členy dodavatelského řetězce? Co se stane, když dojde ke kolizím? Jaké jsou požadavky na úroveň detailu v jednotlivých fázích projektu? Co se rozumí pod úrovní např. LOD 100,200,300 pro komunikovaný projekt? Kdo je odpovědný za co v tomto projektu? Nejen toto jsou otázky, na které musí být nalezena odpověď.

BEP je vyhotovován ve dvou odlišných fázích

1fáze: (Pre-contract BEP) je vyhotoven jako reakce na dotazníkové šetření EIR. Toto šetření je směřováno na jednotlivé Dodavatele BIM projektu. Můžete se s ním setkávat pod názvem Employers Information Requirements (EIR). Výstupem dotazníkového šetření jsou ucelené informace o přístupu, kapacitách a schopnosti plnit zadání EIR pro konkrétní BIM projekt. V této fázi by měl BEP obsahovat odpovědi na požadavky vyplývající z požadavků EIR, potenciál jednotlivých dodavatelů a jejich odbornosti, projektové milníky a strategie (PIM).

2 fáze: (Post-Contract BEP) znovu předkládá a ověřuje EIR. Dochází ke konečnému potvrzení všech zúčastněných stran o shodě na závěrech BEP. Post-contract BEP je připraven v čase reagovat na změny a doplnění dodavatelského řetězce. Měl by v této fázi obsahovat odpovědi na požadavky EIR, upravený PIP, matrice odpovědnosti, metody a postupy, podrobnosti o plánu vedení a výstupech, TIDP, MID.

Po uzavření této fáze je BEP připraveným smluvním dokumentem, který provází všemi fázi a stupni projektu BIM. Zároveň má schopnost přijmout změny v celém dodavatelském řetězci.

Pojmy

EIR – Employers Information Requirements je dotazníkové šetření připravované vždy pro konkrétní projekt, je zaměřen na všechny aspekty BIM projektu. Slouží jako podklad pro zpracování Pre-contract BEP

PIM – Project Information Model – je projektový informační model vyvíjející se v průběhu projektu a musí být v souladu s MIDP.

MIDP – Master Information Delivery Plan je primární plán, který slouží ke správě poskytování informací během životního cyklu projektu. Nejčastěji je připravován a spravován manažerem dodávky projektu ve spolupráci s vedoucími jednotlivých týmů. V podstatě je shrnutím plánů zadávání individuálních úkolů.

TIDP – Task Information Delivery Plan je definován jako pravidelně vykazované seznamy o výsledcích jednotlivých úkolů včetně formátů dat a stanovení odpovědností. Odpovědností každého vedoucího týmu je vést vlastní TIPD, který pak pomáhá při sledování vývoje a plnění MIDP.

Toto je velmi rozsáhlé téma a zaslouží si zvýšenou pozornost i vlastní článek. Jsem si jistý, že BEP se stane, nebo se už v některých případech stal, nedílnou součástí našeho profesního prostředí. Ve společnosti GRAITEC byla ustanovena pracovní skupina, která se otázkou BEP zabývá. Hlavní zdrojem zkušeností pro rozvoj jsou pro nás kolegové z GRAITEC.UK. Ti již

mají s implementací celého procesu bohaté zkušenosti a pomáhají nám toto téma rozvíjet v České republice.

ZDROJE

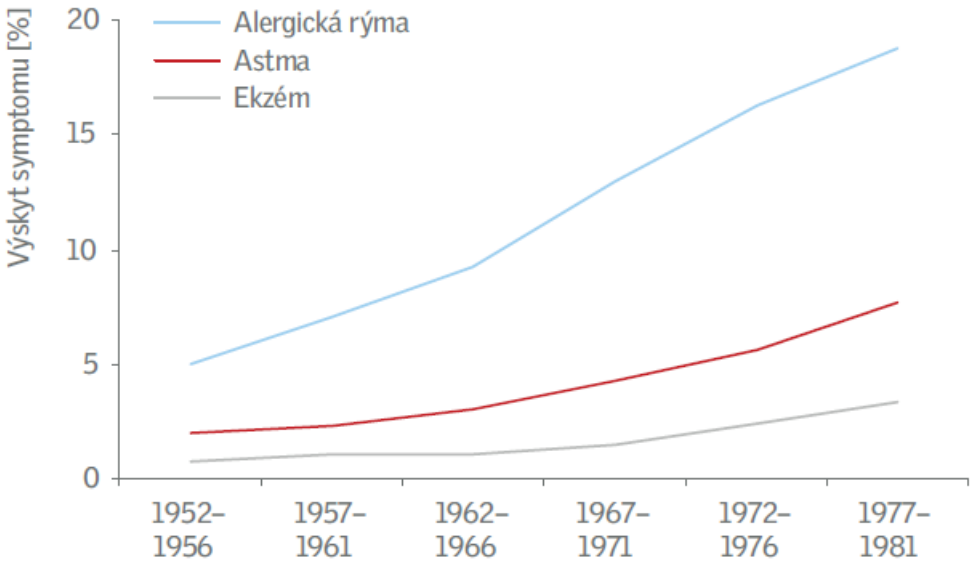
[1] www.graitec.cz
[2] https://bimportal.scottishfuturestrust.org.uk
[3] www.tzbinfo.cz
[4] GRAITEC BEP Workshop
[5] CEEC resarch s.r.o. – Kvartální analýza českého stavebnictví
[6] Ministerstvo průmyslu a obchodu – Dostupné z: http://www.mpo.cz
[7] Budoucnost zadávání a realizace stavebních zakázek V. – prezentace finálního návrhu nové legislativy Ministerstva průmyslu a obchodu předložené pro schválení vládou České republiky.

ÚVOD KE KONCEPTU VĚTRÁNÍ

Ing. Jan Bedřich
Česká komora lehkých obvodových plášťů – ČKLOP

ANOTACE

Zdraví obyvatel se věnuje stále více přednášek a konferencí po celé Evropě. Není to proto, že je to zajímavé, ale je to proto, že je to velice aktuální. Přestože se lidský život díky lékařské péči stále prodlužuje, paradoxně se v jednom směru zdraví obyvatel zhoršuje (průzkum proveden v rámci EU) a je, kromě jiného, ovlivněno špatným prostředím vnitřních prostor a jeho negativním dopadem na lidské zdraví. Co je příčinou této situace?



Obrázek 2.3: Výskyt alergie, astmatu a ekzému mezi švédskými branci (mladými muži vstupujícími do ozbrojených složek).

Nejjednodušším ukazatelem kvality vnitřního prostředí je hladina CO_2, kterou již v roce 1865 změřil a určil její hraniční hodnotu Max von Pettenkofer – německý lékař (1818-1901) na úrovni 1000 ppm jednotek CO_2. Od té doby se tyto „zdravé“ hodnoty CO_2 řádově nezměnily a stále platí jako doporučení všech hygienických nařízení.

Dalším tématem je ochrana zdraví obyvatel před nežádoucími účinky dalších pro zdraví škodlivých látek, jako jsou:

Plyny – formaldehyd, organické látky (VOC), anorganické látky (NOx, SOx atd.),

Pevné částice – prach, produkty spalování, zbytky pokožky či textilní částice,

Radioaktivní plyny – radon – viz nový radioaktivní zákon,

Biologické látky – plísně, houby, pyl, roztoči,

Vodní pára – vlhkost.

Samostatnou skupinu nebezpečí tvoří **Zplodiny**, které vznikají při nedokonalém hoření bez dostatečného přívodu vzduchu. Situace je zvlášť vážná v objektech s plynovou karmou, která

při nedostatečném přísunu čerstvého vzduchu, a tedy nedokonalém spalování, vytváří jedovatý CO, který ve vysokých koncentracích způsobuje smrt člověka.

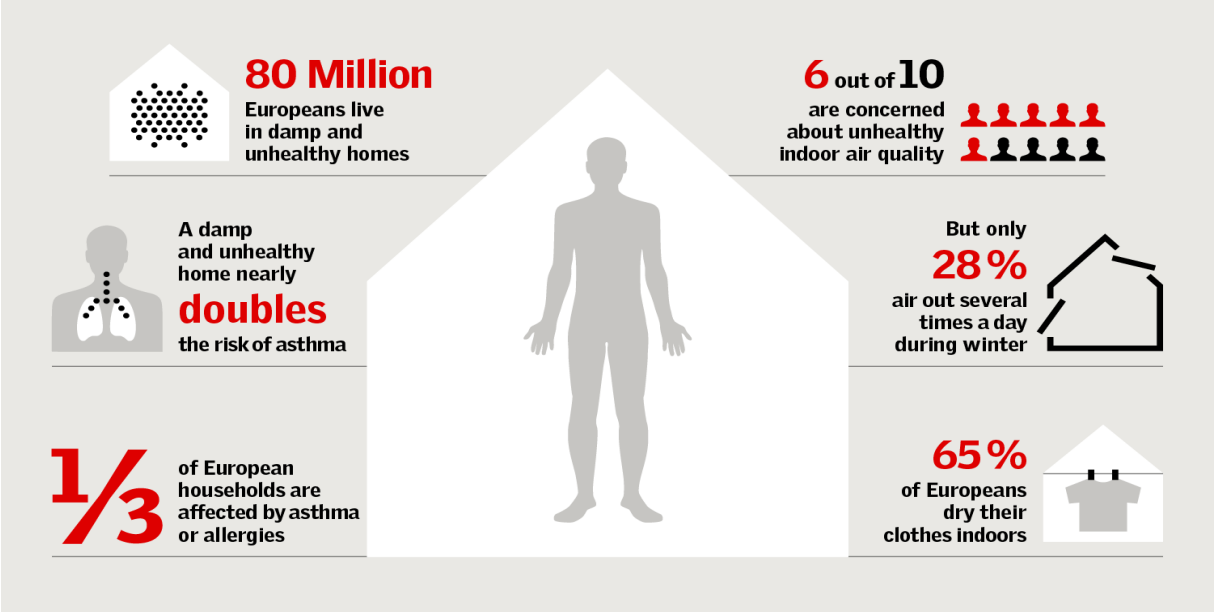
Koncept větrání nabízí ucelený přehled všech možných vlivů, které mají na konečnou kvalitu vnitřního prostředí zásadní dopad, a ukazuje základní způsoby, jak jich dosáhnout.

ÚVOD

Zdá se, že my, lidé, neumíme správně nakládat s tak dokonalou technologií stavebních konstrukcí, kterou máme dnes k dispozici, a která nám, v některých směrech spíše škodí.

Vyplývá to z průzkumu chování lidí, kteří často dělají zásadní chyby při řízení kvality prostředí, ve kterém sami žijí.

Je rozdíl ve vnímání, co ovlivňuje zdraví člověka, a jeho vlastním jednáním na jeho ochranu



Dnes jsme svědky zpřísňujících se parametrů požadovaných u tepelně izolačních vlastností výrobků. Současně je kladen důraz na snižování dopadu stavební činnosti na životní prostředí, a ve výsledku to má být ještě navíc hezké a moderní. To vše ale dnešní technologie Lehkých obvodových plášťů (LOP), oken a dveří, nabízí.

Složitost problematiky LOP, oken a dveří a ukazují čísla počtu norem, která se k oknům vztahují.

Do roku 1960 není v systému ÚNMZ evidována žádná norma. Do roku 1985 se objevily dvě normy s datem vydání 1962 a 1975. Do roku 2000 bylo vydáno 15 norem. A do roku 2017 je evidováno celkem 48 platných norem, které se vztahují k samotným oknům.

S problematikou kvality vnitřního prostředí je situace ještě horší, protože k této otázce se vztahuje cca 92 legislativních dokumentů ze skupiny norem, směrnic, zákonů nařízení vlády apod.

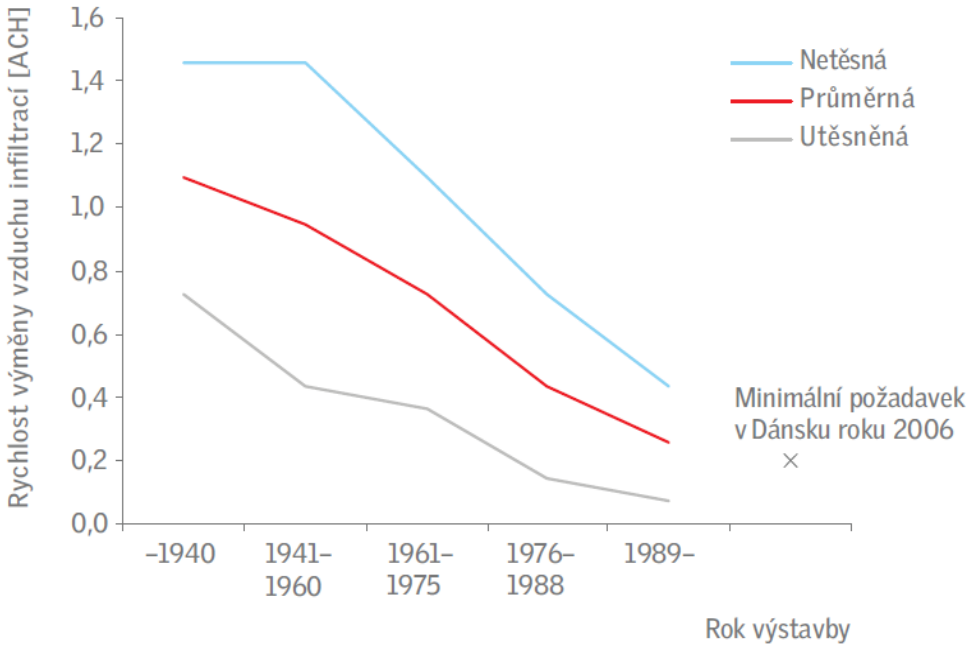
Tato čísla nejsou ukázkou přebujelé administrativy, ale dokládají složitost oboru lehkých obvodových plášťů, oken a dveří v současných technologických podmínkách, které, díky pokroku, umožňují dosahovat špičkových parametrů.

Cílem Konceptu větrání je vrátit odpovídající pozornost kvalitě vnitřního prostředí, a tedy přívodu čerstvého vzduchu, a ukázat odpovídající technická řešení.

KONCEPT VĚTRÁNÍ - ZÁMĚR

Technologie současných oken je vyspělá do té míry, že jejich průvzdušnost je prakticky na nulové hodnotě, a proto je problematice větrání nutné věnovat daleko větší pozornost než dříve. Nové předpisy, které by řešily potřebu přívodu čerstvého vzduchu, nejsou zapotřebí. Ale pod taktovkou Energetických úspor se „zapomnělo“ na skutečnost, že s příchodem těsných oken se musí s odpovídajícím důrazem řešit zcela nově a samostatně i větrání a přívod čerstvého vzduchu.

Zákonné a normové požadavky na přívod čerstvého vzduchu jsou stále platné. Spolu se zásadním zvýšením kvality oken (především jejich utěsněním) musíme požadovat i zásadní změnu v chování obyvatel v otázkách větrání, nebo adekvátní technické řešení, které by zajišťovalo dostatečný přívod čerstvého vzduchu. Současný stav oken je možné charakterizovat prakticky nulovou průvzdušností, ale zvyklosti spojené s větráním jsme ponechali na úrovni před 25 lety, kdy netěsnými okny proudil dostatečný objem vzduchu infiltrací a větrat se příliš nemuselo. Proto je stávající stav větrání některých budov obecně horší než dříve.



Obrázek 2.14: Rychlost výměny vzduchu infiltrací naměřená ve švédských domech; převzato z normy EN 13465.

Z uvedeného grafu vyplývá poměrně rychlý pokles rychlosti výměny vzduchu infiltrací netěsnými okny díky rostoucí kvalitě jejich konstrukce a samotného těsnění. Těsnění současných oken infiltraci vzduchu prakticky neumožňuje. (Tady se nejedná o tzv. mikroventilaci). Infiltrace vzduchu je u současných kvalitních oken prakticky na nulové hodnotě a rozhodně s ní nelze počítat. A o to zásadnější význam pro kvalitu vnitřního prostředí má zajištění dostatečného větrání jinými cestami.

I samotné množství platné legislativy znesnadňuje porozumění problematiky větrání, a proto se často nedodržují, nebo se obcházejí. Koncept větrání by měl veškerou problematiku sjednotit, propojit, a ukázat správnou cestu k čerstvému vzduchu na všech úrovních. Posledním a zásadním úkolem Konceptu větrání je stanovení osoby odpovědné za naplňování kvality vnitřního prostředí.

KONCEPT VĚTRÁNÍ - ZPRACOVÁNÍ

„*Podmínkou neposlední důležitosti pro zdraví člověka je zajisté, aby místnost, ve které se nachází, stále čerstvý mu poskytovala vzduch a aby tento měl teplotu tělu lidskému přiměřenou. A divno dost, že nedbáno dosud dosti úzkostlivě hlavně podmínky prvé - řádné ventilace. Vinna tím nedůvěra kruhů kompetentních a okolnost, že obecenstvo naše na důležitost dokonalé ventilace nebývá dosti důrazně upozorňováno.*“ Citát z knihy Topení a větrání obydlí lidských od J. E. Purkyně vystihuje poměrně dobře situaci v problematice větrání jak v roce 1891 – tak i o 126 let později!

Citace:

„Koncept větrání je dokument, který slouží pro základní orientaci v problematice větrání budov pro pobyt osob. Je určen zejména pro přípravnou fázi dokumentace, kdy dochází k volbě koncepce větrání, lze ho však využít ve všech fázích procesu návrhu i realizace.
Dokument je určen všem osobám činným ve výstavbě (laikům i odborníkům), jejichž činnost se dotýká tvorby vnitřního prostředí v budovách - budoucím stavebníkům, uživatelům, developerům, architektům, projektantům, dodavatelským firmám, provozovatelům i pracovníkům stavebních úřadů. Uplatní se při návrhu novostaveb, rekonstrukcích i při změnách užívání budov, zejména pokud dochází k výměně okenních výplní.
Dokument „Koncept větrání“ je metodickou pomůckou pro návrh větrání při respektování hlavních aspektů, kterými jsou hygiena, zdraví, stavební řešení a spotřeba energie. Opírá se o závazné právní předpisy, doporučené technické normy, technické normativní informace a technická pravidla a to vždy v jejich platných zněních. Některá doporučení vycházejí ze zahraničních podkladů a zkušeností.
Kromě přehledu platných právních předpisů, norem a směrnic, obsahuje „Koncept větrání“ základní požadavky na větrání, přehled větracích systémů, doporučení pro stanovení průtoku větracího vzduchu, požadavky na odvod vzduchu, požadavky na související profese a stručné pokyny pro přejímku, provoz a údržbu větracího zařízení. Podstatná část dokumentu je věnována návrhu větrání a výběru systému pro konkrétní prostory/budovy. Přílohy dokumentu obsahují přehled větracích systémů pro obytné a školní budovy, vzor protokolu pro návrh koncepce větrání i příklad řešení nuceného větrání rodinného domu.“

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

LITERATURA

[1] *Indoor Air Qality, Thermal Comfort and Daylight*. Analysis of Residental Building Ragulations in Eight EU Members States, BPIE – Building Performance Institute Europe, Březen 2015
[2] *Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book*, Velux - version 3.0 - 2014
[3] *Koncept větrání*. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, Vydáno 12/2016

HODNOCENÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ PRO UČEBNY ŠKOL

Marek Begeni, Vladimír Zmrhal

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
Marek.Begeni@fs.cvut.cz, Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz

ANOTACE

Cílem příspěvku je stanovit reálnou potřebu energie na větrání učeben se započítáním tepelných zisků a analyzovat energetické přínosy vysokých teplotních faktorů zpětného získávání tepla. Na jednoduchém modelu učebny byl realizován výpočet v energetickém simulačním programu a odhadnuty náklady na provoz nuceného větrání. Na základě provedených výpočtů a rešerše výrobků je polemizováno o účelnosti použití výměníků s vysokým teplotním faktorem ZZT podle směrnice o Ekodesignu.

ÚVOD

Řada studií prokázala, že zhoršená kvalita vnitřního prostředí ve školách má negativní vliv na pozornost a výkonost žáků [1], [10]. Obdobně je tomu i u vyšší nemocnosti, která je spojená s absencí včetně dopadu na zdravotní potíže, které se projevují alergiemi, astmatem apod. [5],[7],[8],[9]. Je jisté, že větrání (ať už přirozené nebo nucené) s sebou přináší provozní náklady (platby za energie). Často se lze setkat s názorem typu „nejvíc ušetřím, když nevětrám“, což se může zdát v kontextu snižování nákladů na provoz školy jako opodstatněné (peněz na školství je málo), navíc v době kdy je vyvíjen značný tlak na snižování spotřeby energie budov. Problematika je však mnohem širší, má celospolečenský charakter a zasahuje do dalších odvětví (zdravotnictví, vzdělávání, průmysl). Tyto náklady jsou jen těžko vyčíslitelné a argumentace ve prospěch zdravého vnitřního prostředí ve školách je tak velmi obtížná.

POTŘEBA TEPLA NA VĚTRÁNÍ

Při současných požadavcích na výstavbu se na celkové tepelné bilanci podílí významnou měrou tepelné zisky. Z pohledu školských budov se jedná zejména o vnitřní tepelné zisky způsobené přítomností člověka (dětí) a dále o tepelné zisky z venkovního prostředí způsobené slunečním zářením. Výsledný tepelný tok se skládá ze třech základních položek:

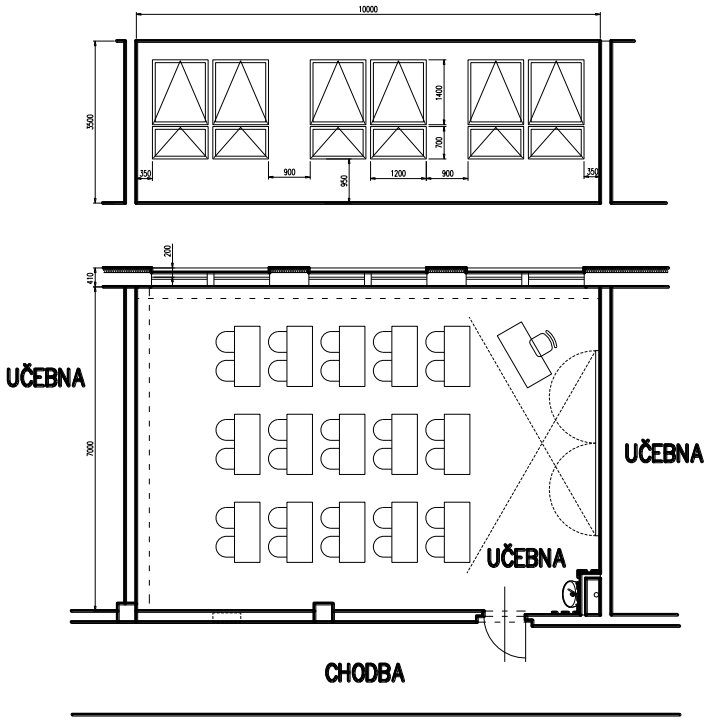
1) tepelná ztráta prostupem,
2) tepelná ztráta větráním,
3) tepelné zisky (vnitřní a vnější).

Dříve publikovaná analýza výpočtu potřeby tepla na větrání učeben [2] je založena na zjednodušeném výpočtu a tepelné zisky prakticky nezahrnuje (kromě zisku od ventilátoru). Pro podrobné analýzy se jeví výhodnější využít energetický simulační výpočet, který poskytne předpověď tepelných zátěží, tepelných ztrát, parametrů vnitřního prostředí a potřeby energie pro danou zónu při zadaném průběhu venkovních klimatických podmínek, obvykle s hodinovým časovým krokem.

MODELOVÝ PŘÍPAD

Pro analýzy byl vytvořen model učebny, jejíž půdorys je znázorněn na obr. 1, vč. pohledu na venkovní fasádu. Celková podlahová plocha učebny činí 70 m^2, objem učebny je 245 m^3.

V rámci studie [4] bylo zkoumáno více variant lišících se typem provozu učebny (ZŠ / SŠ), vnitřní teplotou vzduchu (konstantní teplota / útlumový režim), orientací (sever / jih) a učebny v rámci budovy školy (uvnitř traktu budovy / rohová místnost).



Vzhledem k prostoru a účelu příspěvku jsou zde uvedeny výsledky pro učebnu (ZŠ I. stupeň a SŠ), která je umístěna uvnitř traktu školské budovy (disponuje pouze jednou venkovní stěnou s okny). Teplota vzduchu v učebně je uvažována konstantní 22 °C. Veškeré tepelně-technické vlastnosti modelu a jeho konstrukcí jsou navrženy v souladu s normou [13]. Učebna je navržena pro 30 žáků a 1 vyučujícího. Obsazenost učebny žáky se předpokládá z 90 % (27 žáků) a to v době provozu každý den v týdnu od 8:00 do 13:00. Tepelný zisk od žáka byl stanoven podle [11].

Obr. 1 *Půdorys učebny s uspořádáním vnější fasády*

Základní tepelná bilance učebny

Výsledný tepelný tok Q_c je možné stanovit na základě zjednodušené tepelné bilance zahrnující tepelnou ztrátu prostupem $Q_{ztr,p}$, větráním $Q_{ztr,vět}$ a vnitřní tepelné zisky $Q_{z,i}$.

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_{z,i} - \dot{Q}_{ztr,vět} - \dot{Q}_{ztr,p} \qquad (1)$$

Znaménko „-“ v tepelné bilanci znamená tepelnou ztrátu, znaménko „+“ tepelný zisk. Pro zjednodušení v úvahách opomineme tepelné zisky od oslunění (uvažujeme místnost orientovanou na sever, kde jsou zisky od oslunění v zimě zanedbatelné - viz dále).

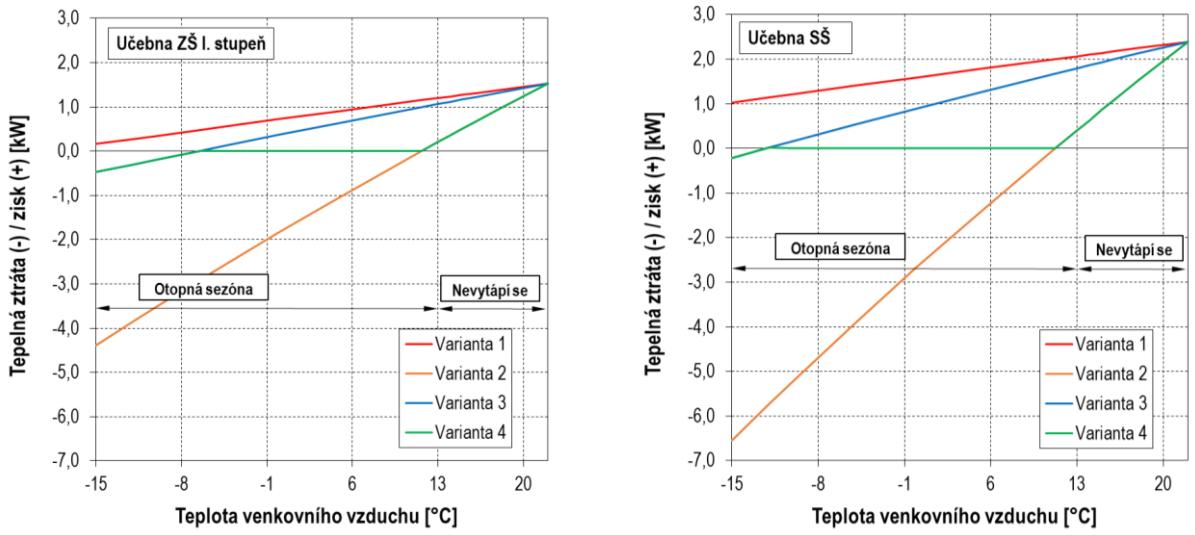
Tepelná bilance byla realizována pro různé okrajové podmínky uvedené v tab. 1. Varianta 1 představuje učebnu s nedostatečným, varianta 2 pak s dostatečným přirozeným větráním. Varianty 3 a 4 představují nucené větrání se zpětným získáváním tepla s konstantním průtokem vzduchu. U varianty 4 bylo použito řízené větrání s ohledem na odvod tepelné zátěže učebny.

Výsledky tepelné bilance jsou uvedeny na obr. 2a (ZŠ) a 2b (SŠ) pro všechny zkoumané varianty. U varianty 1 je zřejmé, že učebny jsou zatíženy celý rok tepelnými zisky (výsledná bilance je kladná (červená závislost) a to i přes to, že opomíjíme oslunění. V důsledku toho bude teplota vzduchu v učebně stoupat. Nevětrané učebny mají tendenci se přehřívat, což je známo i z praktických zkušeností. Pokud připustíme trvalé přirozené větrání (varianta 2) bude efekt opačný – prakticky celé otopné období je nutno vzduch dohřívat (žlutá přímka). Navíc běžně používané otopné soustavy nedokáží pružně reagovat na trvalý přívod chladného vzduchu z venkovního prostředí. Nucené větrání s vysokou účinností ZZT (varianta 3) rovněž

není ideální řešení, neboť podstatnou část roku se učebny opět přehřívají. Vysoké požadavky na účinnosti ZZT [14] jsou oprávněné, neboť v dnešní době se uplatní pouze v nejchladnějších dnech roku (pro t_e < -5).

Tab. 1 *Seznam zkoumaných variant*

Číslo varianty	**Popis**	**Průtok venkovního vzduchu**		**Teplotní faktor (účinnost) ZZT Φ [%]**	**Teplota přiváděného vzduchu**
		ZŠ	**SŠ**		
1	Větrání infiltrací / mikroventilací	0,1 h^{-1}		0 %	t_e
2	Přirozené větrání	12 m^3/h.žáka	20 m^3/h.žáka	0 %	t_e
3	Nucené větrání	12 m^3/h.žáka	20 m^3/h.žáka	80 %	$\Phi (t_i - t_e) + t_e$
4	Řízené větrání podle potřeby	12 m^3/h.žáka	20 m^3/h.žáka	max. 80 % + řízený obtok	variabilní

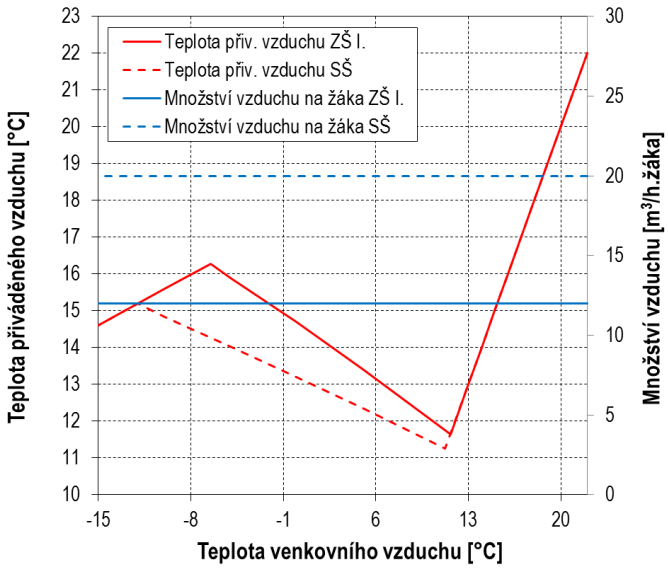


a) ZŠ I. stupeň *b) SŠ*

Obr. 2 *Tepelná bilance učebny ZŠ a SŠ*

Uvedené úvahy vedou na **nutnost řízeného větrání** učeben tak, aby výsledná bilance (1) byla pokud možno nulová (Q_c = 0) – Varianta 4 (zelená závislost). Uplatní se zde **regulace průtoku vzduchu** (podle potřeby a zátěže) a rovněž **regulace teploty přiváděného vzduchu**. Pro odvod tepelné zátěže lze s výhodou využít venkovní vzduch (většinu školního roku je t_e < 22 °C), bez použití strojního chlazení. Teplotu přiváděného vzduchu se doporučuje regulovat obtokem („by passem“) výměníku ZZT.

Z obr. 3 je patrno, že teplota přiváděného vzduchu pro odvod tepelné zátěže je poměrně nízká (pro SŠ $t_{p,min}$ = 11,5 °C) a pracovní rozdíl teplot je Δt_p = 10,5 °C. Nedílnou součástí větracího systému tak musí být, **kromě řízeného obtoku i vhodná distribuce vzduchu**, tedy výusť zajišťující rozptýlení přiváděného (chladnějšího) vzduchu v prostoru, bez negativních účinků na člověka. Odvod tepelné zátěže, lze samozřejmě řešit i navýšením průtoku přiváděného vzduchu, pokud to zařízení umožňuje.



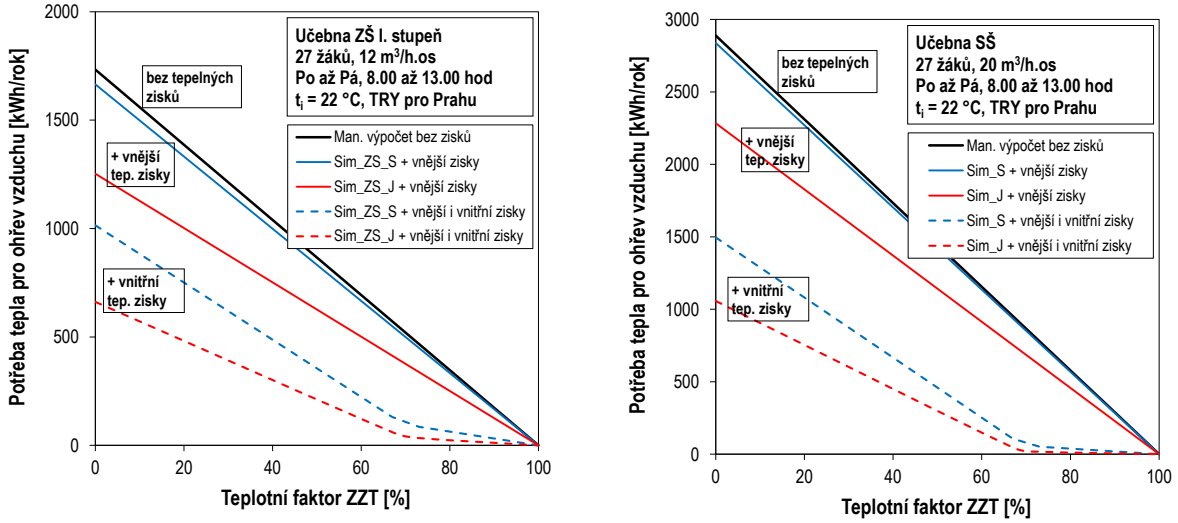
Pro teploty t_e > 13 °C se již v maximální míře může uplatnit přirozené větrání s vyššími průtoky vzduchu. Z energetického hlediska to nepředstavuje žádný problém, neboť otopná soustava již není v provozu.

Obr. 3 *Průběh teploty přiváděného vzduchu pro variantu 4*

VÝSLEDKY SIMULAČNÍCH VÝPOČTŮ

Potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu se běžně zahrnuje do potřeby tepla na vytápění. Ve většině případů je obtížné tyto dvě hodnoty od sebe oddělit, zejména v případech, kdy do bilance vstupují tepelné zisky.

Na obr. 4 jsou uvedeny výsledky potřeby tepla na větrání v závislosti na teplotním faktoru výměníku ZZT. Teplotní faktor ZZT roven 0 % odpovídá situaci, kdy větrací systém není vybaven ZZT, např. přirozené větrání nebo nucené podtlakové větrání. Hodnoty teplotního faktoru ZZT představují celoroční průměrnou hodnotu v době provozu zařízení. Černá závislost představuje výsledky manuálního výpočtu publikovaného v článku [2] (bez uvažování tepelných zisků). Zbylé závislosti byly získány na základě simulačního výpočtu. Červená závislost platí pro místnost orientovanou na jih, modrá na sever. Čárkované závislosti představují reálné výsledky simulací s uvažováním vnitřních i vnějších tepelných zisků.



a) ZŠ *b) SŠ*

Obr. 4 *Potřeba tepla na ohřev venkovního vzduchu – výsledky*

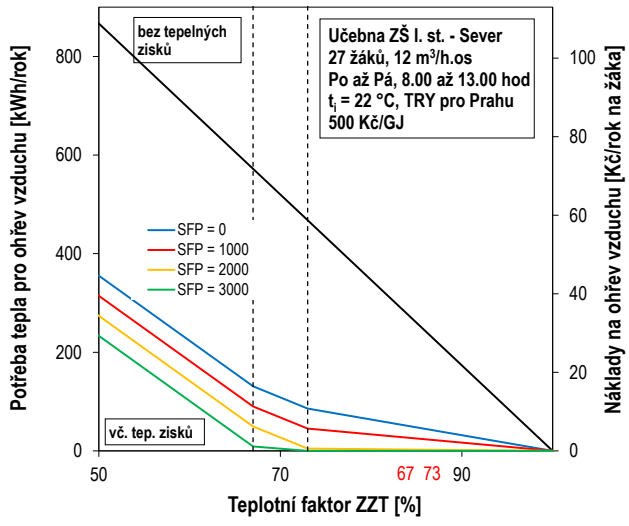
Potřeba tepla na větrání modelové učebny ZŠ vybavené nuceným větráním s teplotním faktorem 67 % (minimální požadavek v souladu s [14]) je 131 kWh/rok (pro učebnu orientovanou na sever). V případě učebny orientované na jih je to 61 kWh/rok. Při průměrné ceně tepelné energie 500 Kč/GJ (reálně se může pohybovat mezi 300 až 700 Kč/GJ) to představuje náklady ve výši max. 236 Kč/rok pro učebnu orientovanou na sever a 163 Kč/rok pro učebnu orientovanou na jih, tj. **max. 9 resp. 6 Kč na žáka za rok (!).** Ve skutečnosti je tato částka ještě nižší, neboť ve výsledné bilanci se projeví i tepelný zisk od přívodního ventilátoru (viz dále). Obdobných výsledků bylo dosaženo i při výpočtech učebny SŠ. Potřeba tepla na větrání s nuceným větráním se ZZT by tak neměla být překážkou pro jeho provoz.

Ohřev vzduchu od ventilátoru

Veškerá energie přívodního ventilátoru, který je spolu s elektromotorem umístěn v proudu vzduchu, se přemění na teplo a podílí se tak na ohřevu vzduchu. Předpokládáme, že přívodní ventilátor se na celkové spotřebě elektrické energie jednotky podílí právě jednou polovinou. Celková potřeba tepla na ohřev venkovního vzduchu ponížená o příkon přívodního ventilátoru pro jednu ze zkoumaných variant je znázorněna na obr. 5 (*SFP* je měrný příkon jednotky).

Výsledky jsou zobrazeny pro různé hodnoty *SFP* (barevné křivky). Černá přímka znázorňuje potřebu tepla bez uvažování tepelných zisků. Z analýz větracích jednotek na českém trhu (viz dále) bylo zjištěno, že většina jednotek dosahuje hodnot *SFP* do 3000 W.s/m^3. U jednotek se *SFP* > 3000 W.s/m^3 a teplotním faktorem ZZT > 67 % není prakticky nutné vzduch dohřívat. To samozřejmě neznamená, že použití jednotek s vysokým příkonem (vysokou hodnotou *SFP*) je energeticky výhodné. Cena za elektrickou energii je často vyšší, než cena za energii tepelnou.

Na obr. 5 jsou rovněž vyčísleny i orientační náklady na ohřev větracího vzduchu pro zkoumanou učebnu na jednoho žáka. Výsledky zohledňují tepelnou zátěž i ohřátí vzduchu v přívodním ventilátoru. Jak již bylo uvedeno, cena za ohřev větracího vzduchu při použití nuceného větrání je velmi nízká. Cena za tepelnou energii se může lišit podle použitého zdroje tepla nebo podle regionu (v případě použití CZT, které využívá cca 1/3 škol) [3].



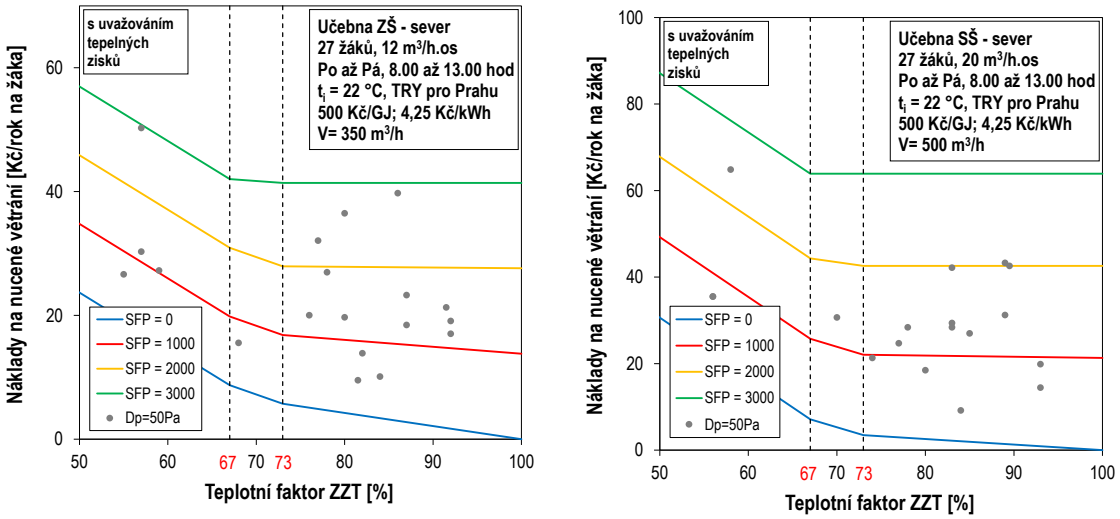
***Obr. 5** Potřeba tepla na ohřev venkovního vzduchu při uvažování ohřevu vzduchu od přívodního ventilátoru*

NÁKLADY NA PROVOZ NUCENÉHO VĚTRÁNÍ

Na obr. 6 jsou vyneseny celkové náklady na větrání vztažené na jednoho žáka uvažované učebny ZŠ, při započítání potřeby elektrické energie pro pohon jednotky. Body v grafu představují konkrétní parametry větracích jednotek. Pro účely tohoto článku bylo

analyzováno 19 lokálních větracích jednotek se zpětným získáváním tepla dostupných na českém trhu (bez bližší specifikace) se jmenovitým průtokem 350 resp. 540 m^3/h, dopravní tlak jednotek byl uvažován 50 Pa (cena za elektrickou energii byla uvažována 4,25 Kč/kWh).

Technické údaje, tj. příkon a účinnost ZZT byly převzaty z webových stránek výrobců vzduchotechnických jednotek. Z obr. 6 je zřejmé, že většina jednotek dosahuje hodnot *SFP* do 3000 W.s/m^3.



a) ZŠ *b) SŠ*

Obr. 6 *Náklady na nucené větrání pro různé typy lokálních větracích jednotek*

Náklady na provoz větrání při použití konkrétní lokální větrací jednotky s účinností ZZT ≥ 67 %, se pohybují v rozmezí od 10 do 50 Kč/rok na žáka pro učebnu ZŠ umístěnou ve vnitřním traktu budovy, orientovanou na sever. Jak je vidět náklady na větrání závisí na typu jednotky, resp. jejím měrném příkonu *SFP* a účinnosti ZZT. Z obr. 6 je zřejmé, že vyšší teplotní faktor ZZT nemusí obecně znamenat nižší provozní náklady. Zásadní roli zde hraje elektrický příkon jednotky a samozřejmě ceny energií. Skutečná spotřeba se od prezentovaných výsledků potřeby energie liší – u nuceného větrání se ZZT není tento rozdíl příliš významný.

HODNOCENÍ VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ

Provozní náklady větrání jsou tedy dány nejen potřebou tepla na ohřev vzduchu (účinností ZZT), ale u nucených větracích systémů i potřebou elektrické energie na pohon ventilátorů. V souladu se závěry uvedenými výše se nabízí otázka komplexního hodnocení s možností porovnávat jednotlivé větracích systémy (jednotky) mezi sebou, a to na základě znalosti základních parametrů (účinnost ZZT, příkon ventilátoru a nasmlouvané ceny energií). Účelem takového hodnocení je zakomponování nákladů na teplo a elektřinu do jediného parametru.

Zjednodušeně lze celkové provozní náklady *PN* (bez uvažování tepelných zisků, údržby a servisu) stanovit z rovnice

$$PN = PHV \cdot V_e \cdot \tau \ \text{[Kč/rok]}, \qquad (2)$$

kde *PHV* je nově navržený parametr pro hodnocení větracích jednotek, resp. větracích systémů, který nazveme provozní hodnocení větrání

$$PHV = \left[\left(\rho c \left(t_i - t_{e,p} \right) (1 - \Phi) - 0,5 \cdot SFP_j \right) c_t + SFP_j \cdot c_e \right] \Big/ 1000 = \text{ [Kč/m}^3\text{]} \quad (3)$$

Následující člen rovnice (2) nemůže nabývat záporných hodnot.

$$\left(\rho c \left(t_i - t_{e,p} \right) (1 - \Phi) - 0,5 \cdot SFP_j \right) \geq 0 \quad (4)$$

Tab. 2 *Porovnání parametru PHV pro různé parametry větracího systému (ZŠ, 350 m^3/h, 4,25 $Kč/kWh_E$, 500 $Kč/GJ_T$)*

Φ [%]	***SFP*** **[W.s/m^3]**						**Poznámka**
	500		**2000**		**3000**		
	PHV **[Kč/m^3]**	***PN*** **[Kč/rok]**	***PHV*** **[Kč/m^3]**	***PN*** **[Kč/rok]**	***PHV*** **[Kč/m^3]**	***PN*** **[Kč/rok]**	
0	39,3	3444	39,3	3444	39,3	3444	Řádné přirozené větrání
67	14,6	1283	19,7	1724	23,0	2018	Nucené větrání se ZZT
80	9,5	836	14,6	1276	17,9	1570	

ZÁVĚR

Kromě udržování kvality vnitřního ovzduší přispívá větrání k odvodu tepelné zátěže a zabraňuje přehřívání místností, a to i během zimních měsíců. Z důvodu možného diskomfortu nelze trvale přivádět vzduch venkovní bez ohřevu. Na druhou stranu se ukazuje se, že většinu roku je potřeba do učeben přivádět vzduch o nižší teplotě, než je teplota vzduchu v místnosti, což vede na úvahy o nutnosti použití vysokých faktorů výměníků ZZT a jejich přínosu. Zařízení s nižším teplotním faktorem ZZT bude pravděpodobně disponovat menší tlakovou ztrátou, což v důsledku vede na nižší příkony ventilátorů. Jak bylo ukázáno, stěžejním z hlediska nákladů je potřeba elektrické energie pro pohon jednotek.

Z uvedených analýz se zdá, že náklady na provoz nuceného větrání se ZZT jsou zanedbatelné. Ve skutečnosti bude nutné uvažovat i náklady na výměnu filtrů (zpravidla 1x za 3 měsíce), údržbu a servis. Výpočet je zatížen určitou nepřesností, neboť pracuje s potřebou tepla, nikoliv spotřebou. Reálná spotřeba tepla bude ovlivněna účinností jednotlivých technických systémů budovy, tj. zdroje tepla, otopné soustavy, rozvodu energie apod. To jsou okrajové podmínky, které nebyly zohledněny z důvodu mnoha dalších variant.

LITERATURA

[1] BAKÓ-BIRÓ, Zs, et al. Ventilation rates in schools and pupils' performance. Building and Environment, 2012, 48: 215-223.

[2] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Potřeba energie pro větrání učeben. In: Vytápění, větrání, instalace. 2015, roč. 24, č. 5, s. 218-222. ISSN 1210-1389

[3] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Dotazníkový průzkum stavu školských budov. In: portál TZB info. ISSN 1801-4399. 2015.

[4] BEGENI, M., ZMRHAL, V. Potřeba energie na větrání učeben a energetický přínos zpětného získávání tepla. In: Simulace budov a techniky prostředí 2016. Brno: IBPSA-CZ. 2016.

[5] DAISEY, J. M.; ANGELL, W. J.; APTE, M. G. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. Indoor air, 2003, 13.1: 53-64

[6] NEČADA, J. Větrání obytných budov. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. 2016.

[7] MENDELL, M. J., et al. Association of classroom ventilation with reduced illnessabsence: a prospective study in California elementary schools. Indoor air, 2013, 23.6: 515 - 528.

[8] SIMONI, M., I. ANNESI-MAESANO, T. SIGSGAARD, et al. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. European Respiratory Journal [online]. 2010, 35(4), 742-749 [cit. 2016-09-21]. ISSN 0903-1936.

[9] SUN, Y., Y. ZHANG, L. BAO, Z. FAN a J. SUNDELL. Ventilation and dampness in dorms and their associations with allergy among college students in China: a case-control study. Indoor Air [online]. 2011, 21(4), 277-283 [cit. 2016-09-21]. ISSN 09056947.

[10] WARGOCKI, P, WYON D., P., a P. Ole FANGER. The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates. Indoor Air [online]. 2004, 14(s8), 7-16 ISSN 0905-6947

[11] ZMRHAL, V. Produkce tepla osob jako podklad pro energetické simulační výpočty. In: Simulace budov a techniky prostředí 2016. Brno: IBPSA-CZ. 2016.

[12] Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých ve znění pozdějších předpisů (Vyhláška č. 343/2009 Sb.).

[13] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. ÚNMZ, 2011.

[14] Nařízení Komise (EU) č. 1253/2014 ze dne 7. července 2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek.

SEZNAM OZNAČENÍ

$c_{t,}$	cena za teplo [Kč/kWh]]
c_e	cena za elektřinu [Kč/kWh]
Q	tepelný tok [W]
SFP_j	měrný příkon jednotky [W.s/m^3]
t_i	teplota vnitřního vzduchu [°C]
t_e	teplota venkovního vzduchu [°C]
$t_{e,p}$	průměrná teplota venkovního vzduchu v době provozu větracího zařízení [°C] (pro účely hodnocení t_{ep} = 4 °C)
V_e	průtok venkovního vzduchu [m^3/s]
Φ	teplotní faktor (účinnost) ZZT pro daný průtok dle [14] [%]

SEZNAM ZKRATEK

CO_2	oxid uhličitý
CZT	centrální zásobování teplem
SŠ	střední škola
ZŠ	základní škola
ZZT	zpětné získávání tepla

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory projektu SGS16/212/OHK2/3T/12 - Modelování, řízení a navrhování zařízení techniky prostředí.

KAM SMĚŘUJE PROFESE PROVOZOVATELE VZT ZAŘÍZENÍ

Ing. Jiří Frýba
jiri.fryba@volny.cz

ABSTRAKT
Překotný vývoj oboru vzduchotechniky zasahuje a proměňuje jak výrobce zařízení, projektanty systémů, montážní firmy, tak i odborné pracovníky, kteří zařízení provozují.

Obdobně, jak se v provozní i jiné praxi vymazávají profesní hranice mezi topenáři, vzduchotechniky i odborníky ZTI a zejména pak profese měření a regulace, mizí i specifikum údržbáře – „vzduchaře“ a přiřazuje ho do širokého portfolia činností, zastřešovaných pojmem facility management. Tato skutečnost nemalou měrou ovlivňuje i úroveň efektivity úspěšnosti provozování a využívání vzduchotechnických systémů všeho druhu a velikostí. Zmíněné problematice je věnován i obsah příspěvku na 22. konferenci Klimatizace a větrání.

1. ÚVOD

Pro pochopení vývojových kroků je nutno sáhnout i do historie, kterou již znají jen pamětníci, protože jenom takto je možné pokusit se o nastínění dalšího vývoje.

Problematika provozování vzduchotechnického zařízení u nás začala nabývat na důležitosti po roce 1970 poté, kdy se začaly objevovat v té době moderní budovy s lehkým obvodovým pláštěm, což bylo aktuální zejména v souvislosti s novou výstavbou administrativních budov po požáru Veletržního paláce, sídlem podniků zahraničního obchodu, v srpnu 1974. V té době však již byly v Praze známy zkušenosti s užíváním proskleného Domu dětské knihy nakladatelství Albatros v Praze 1 a objektu řízení letového provozu na ruzyňském letišti. Budovy byly vybaveny jedněmi z prvních komplexních vysokotlakých třítrubkových i nízkotlakých standardních systémů projektovaných a dodávaných téměř v plném rozsahu tuzemskými projektanty a výrobci.

Jako exemplární se jeví případ sídla zmíněného nakladatelství, kde osazenstvo budovy se svou vysokou erudicí humanitárního vzdělání bylo zaměřeno mimořádně netechnicky. Tato zdánlivě nevýznamná okolnost sehrála v samotných počátcích užívání budovy svou negativní roli. Vedení podniku (nyní bychom řekli „management“) bylo totiž zvyklé na pobývání v tradiční staropražské budově s ústředním parním vytápěním, kde jedinou technicky zaměřenou osobou byla uklízečka - paní topička v místní kotelně. Jelikož bylo vedení podniku dodavateli zařízení informováno, že „vše poběží automaticky“, počítalo se s tím, že vrátný v budově ráno veškerou techniku oživí jediným tlačítkem, kterým večer zase vše vypne.

K dispozici byla tedy jen malá sestava tradičních údržbářů a pomocných dělníků podle zásady „práce všeho druhu“. Jelikož na tradičním rozváděči bylo tlačítek, signálek a vypínačů více, označili si ovladače prostě čísly a barvami a na lístečky si zapsali, kdy mají v průběhu dne s čím a jak manipulovat. Což činili a postupně se seznamovali s efekty, které takto vyvodili.

Pokud odhlédneme od skutečnosti, že soustava měření a regulace zprovozněna při zahájení provozování funkční prakticky nebyla, řízení provozu spočívalo v ručním ovládání uzavíracích (nikoliv regulačních) armatur a zmíněných paketových vypínačů. A jelikož nebyl použitelný ani zdroj chladu, nebylo divu, že ředitele nakladatelství bylo možné nalézt v jeho plně prosklené kanceláři za slunného letního dne s mokrým ručníkem na hlavě. Jak jinak při vnitřní teplotě, měřené suchým teploměrem, a balancující kolem „pěkných“ 35 stupňů Celsia?

2. PODMÍNKY ÚSPĚŠNÉHO PROVOZOVÁNÍ

Cílem příspěvku není věnovat se postupné konsolidaci stavu technického vybavení zmíněného domu (i když nezajímavé to není a kdo se jí účastnil, hodně se naučil) ale je evidentní, že bylo nezbytné postupně obměnit provozovatelský tým za kvalitně vyučené především provozní zámečníky, instalatéry a elektrikáře s patřičnými (i svářečskými, topičskými a „chlaďařskými“) dovednostmi. A také za potřebné techniky. Takto vznikla skupina, která by v současných podmínkách vytvořila dokonalou servisní firmu a která by reálně pokrývala všechny technické potřeby svého zaměstnavatele. Profesní slovník facility managementu by toto uspořádání označil výrazem „in house“.

Obdobným (i když jistě ne tak dobrodružným) vývojem se začala formovat profese provozovatelů technických zařízení dalších budov vybavených stále se rozšiřujícím rozsahem technických zařízení, kde bývá zpravidla vzduchotechnických zařízení převaha.

Technická úroveň obsluhovaných zařízení byla rozličná (a v zahraničních dodávkách zařízení té doby určitě vyšší, než jsme byli zvyklí u tuzemských dodávek), ale obecná nedostupnost servisních zásahů (často hrazená z devizových prostředků) vedla k ojedinělým počinům zdejších provozovatelů, kdy na příklad mistrovským kouskem bylo vytvoření zkušebny a opravny šesticestných pneumatických regulačních ventilů Honeywell pro systém čtyřtrubkové vysokotlaké klimatizace s indukčními jednotkami s použitím tuzemských elementů.

Je nasnadě, že kvalifikační dovednosti dělníků i techniků prostě musely být mimořádně vysoké, a kromě již zmíněné učňovské a školní přípravy byly k dispozici i kurzy, které pořádal předchůdce STP od počátku sedmdesátých let minulého století až do počátků století tohoto. Bylo běžné, že v čele provozovatelských týmů stáli specialisté z oboru techniky prostředí a že pravidelně školili své spolupracovníky v dělnických profesích tak, aby každý dokonale znal nejen rozsah a údržbu svěřených zařízení, ale i nutné fyzikální souvislosti, bez kterých nelze funkci zařízení chápat.

3. KVALIFIKAČNÍ NÁROKY

Pokud bychom se chtěli pokusit o výčet potřebných znalostí, které potřebuje obsluhovatel vzduchotechniky a obecněji i zařízení techniky prostředí, pak kromě řemeslných zručností se musí orientovat i v následující problematice:

- Zákonné měrové jednotky, používané při provozu klimatizace
- a jednotky související
- Vlhký vzduch a změny jeho stavu podle h-x diagramu
- Charakteristika mikroklimatických podmínek a úkoly klimatizace
- Klimatizační zařízení
- Přehledná znalost klimatizačních soustav
- Části klimatizačních zařízení
- Zdroje a distribuce tepla
- Zdroje a distribuce chladu
- Úprava vody pro vodní okruhy klimatizačních zařízení
- Tlakové nádoby stabilní
- Automatická regulace a řídicí systémy
- Podrobná znalost funkce obsluhovaných zařízení

Zde je dlužno připomenout, že uvedená témata se týkají i manuálních zaměstnanců provozovatelských týmů – a praxe prokázala, že této úrovně znalostí bylo soustavnou péčí o zvyšování kvalifikace zaměstnanců dosahováno. Pokud se jedná o kvalifikaci středního managementu, je pro výkon této funkce zcela nutná.

K zásadnímu posunu v pojímání provozování vzduchotechnických (a dalších technických) zařízení došlo po vstupu zahraničních společností do provozovatelské profese po roce 1990. Především přinesly a zaváděly způsob poskytování služeb dodavatelským způsobem (outsourcing), což se jevilo na první pohled jako vítané osvobození firem a institucí od starostí, netýkajících se jejich hlavních činností. Předpokládalo se, že specializovaní poskytovatelé podpůrných služeb budou vybaveni personálem a pracovními prostředky, které by se jednotlivým vlastníkům nevyplatily.

4. FACILITY MANAGEMENT

Současně s tímto jevem začala být uplatňována pracovní metodika, nazývaná „facility management“. Její účelnost, uplatňovaná v plném rozsahu, se stává průkaznou v případě, že poskytovatel zmíněných podpůrných činností využívá multiplikační obchodní přístup a podle svého firemního standardu dodává technické ale současně i mnohé další služby současně velkému počtu rozličných klientů. Rozhodujícím nástrojem je v této souvislosti mnohostranné využití výpočetní techniky. Nicméně, činnosti (procesy), které jsou obsahem těchto služeb, jsou historicky definované a v potřebné formě, rozsahu a souvislostech byly vedeny vždy a všude, kde jich bylo potřeba.

Přelomovým zvratem se stala skutečnost, že zatímco individuálně byly původně podpůrné činnosti pojímány všemi vlastníky objektů jako režijní (a tedy nikoliv ziskové – a v podstatě ztrátové), v režimu outsourcingu jde o čistě obchodní vztah mezi zákazníkem a obchodníkem, který podniká pro dosažení zisku. Dřívější kritérium výsledku funkce vzduchotechnického zařízení - tedy dosažení předepsaných (očekávaných) parametrů umělého mikroklimatu - bylo zatlačeno do pozadí oboustrannými cenovými kalkulacemi. Tím se profese provozování vzduchotechnických zařízení dostala do pozice zboží a je s ní nakládáno tak, jak tomu při obchodním styku bývá. Že ne vždy při nákupu zboží obdrží zákazník deklarovanou hodnotu, již není žádným překvapením.

Stáváme se tedy občas již i svědky opačného přesunu obslužných činností: vlastníci objektů, zklamaní přístupem „outsourcující“ společnosti se vrací k tradici, zmíněné pod názvem „in house“. Tato transakce bývá označována výrazem „insourcing“.

Metodika vlastního výkonu provozních procesů sleduje samozřejmě vývoj technických nástrojů informačních a komunikačních technologií a zatím v ojedinělých případech používá i systémy „internetu věcí“ (IoT). Jsou známy i příběhy údržbových a provozních zásahů v globálním měřítku; zdánlivě se tak těžiště provozních činností přesouvá od řemeslníků k operátorům. Skutečnost, alespoň v našich podmínkách, je ale dosud jiná. Manažeři provozu jen těžko shánějí opravdu kvalifikované techniky a dělníky v tradičních řemeslných profesích. Problémy jsou jak mzdové, tak i pokud se týká osobního přístupu k činnostem, kterým se zaměstnanec v původně výhradně technickém zařazení prostě nevyhne, vezmeme-li v úvahu, že produkt (a tedy povinnosti) obslužného týmu je velmi rozsáhlý – od výhradně technických činností přes úklid, stěhování mobiliáře, pomocné práce všeho druhu (lze vzpomenout Ferdy Mravence – FM – Facility management). A naléhavost požadavků, vznášených zákazníkem bývá často velmi vzdálená technicky náročným činnostem. Stane se pak, že řešení technického problému je v pořadí daleko vzadu například za úklidem prostorů. Ale odstraňování i takových závad se chtě nechtě musí věnovat všichni členové týmu bez ohledu na jejich kvalifikaci a zařazení.

5. VÝHRADY UŽIVATELŮ BUDOV

Od počátku rozšiřování aplikací vzduchotechnických zařízení, zejména klimatizace komfortní, se opakují v podstatě totožné stížnosti na jejich nedostatečnou funkci. Příčiny

tohoto jevu jsou notoricky známy a není naděje, že by se to podařilo změnit. Ať jsou důvody reálné, či ne (a to se vyskytuje velmi často), vždycky bývá hledán původce důvodů stížností. Mezi takto označovanými bývají jak výrobci a projektanti, tak i dodavatelé a samozřejmě provozovatelé.

Při řešení stížností se často zmínění „původci nedostatků“ scházejí, aby společnou snahou vyhověli stěžovatelům. Jak již bylo naznačeno, může být na příklad projektant nebo dodavatel zařízení při takovém jednání nespokojen s postoji zástupce provozovatele. Důvody zde již byly napovězeny. Proto je nanejvýš žádoucí, aby se v zájmu úspěšnosti stavby i projektanti a dodavatelé zaměřili na připravenost provozního týmu na vyzkoušení, převzetí a využívání vzduchotechnických systémů, podpořili jeho připravenost k plnění náročného zadání a aby si ji vyžádali v předávacích dokumentech. K tomu může přispět i dokonalý rozsah náležitostí dokumentace stavby ve znění vyhlášky č. 62/ 2013 Sb. zvláště v části D 1.4 přílohy č. 6. Účelné jsou také podklady pro údržbu, odstraňování závad, základní provozní manuály a různé provozní řády – i když třeba tyto složky dokumentace nepatří mezi povinné.

NORMALIZACE A ODLUČOVACÍ SCHOPNOSTI FILTRŮ PRO BĚŽNÉ VĚTRÁNÍ

Jiří Hemerka, Pavel Vybíral

Ústav techniky prostředí FS ČVUT v Praze
jiri.hemerka@fs.cvut.cz, pavel.vybiral@fs.cvut.cz

ANOTACE

Správné použití filtrů atmosférického vzduchu pro běžné větrání vychází z odlučovacích schopností filtrů, vyjádřených závislostí frakční odlučivosti na velikosti částice, a ze zrnitosti a koncentrace tuhých příměsí v nosném vzduchu v daném konkrétním případě.

Příspěvek přináší přehled o vývoji normalizace a zkoušení filtrů pro běžné větrání v Evropě a USA a kritické hodnocení tohoto vývoje právě z hlediska využitelnosti uváděných parametrů zkoušených filtrů ke stanovení celkové odlučivosti a životnosti při jejich konkrétním nasazení.

Informuje o vzniku ISO normy 16890:2016, která při zkoušení a třídění filtrů zavádí nové indikátory – frakce atmosférického prachu PM_{10}, $PM_{2,5}$ a PM_1. Předpokládá se brzké začlenění této normy do struktury EN a její široké uplatnění především v Evropě.

ÚVOD

Správné použití filtrů atmosférického vzduchu v systémech HVAC se odvíjí od odlučovacích schopností filtrů, vyjádřených závislostí frakční odlučivosti na velikosti částice $O_f(a)$ a ze zrnitosti a koncentrace tuhých příměsí v nosném vzduchu.

U nuceného větrání se zrnitost i koncentrace atmosférického prachu silně liší podle místa a času a rozlišuje se atmosférický prach v průmyslových oblastech, ve městech, na venkově, v místech vzdálených od zdrojů emisí – tzv. venkovní pozaďový aerosol.

Vyjádříme-li zrnitost tuhých příměsí v atmosférickém vzduchu kumulativní křivkou zrnitosti, křivkou zbytků $Z_M(a)$, a odlučovací schopnosti filtru závislostí $O_f(a)$, potom předpokládanou celkovou odlučivost filtru O_c (1) lze jednoduše stanovit dle vztahu

$$O_c = \sum_{i=1}^{n} O_{f,i} . \Delta Z_{M,i} \qquad (1)$$

kde n značí počet velikostních intervalů Δa_i, na který rozdělíme celkový rozsah velikostí částic od a_{min} až a_{max} a $O_{f,i}$ vyjadřuje frakční odlučivost pro střední velikost částice daného velikostního intervalu Δa_i. Hodnota $\Delta Z_{M,i}$ vyjadřuje hmotnostní podíl, který u daného prachu odpovídá zvolenému velikostnímu intervalu Δa_i. Čím je počet intervalů n větší, tím je výpočet celkové odlučivosti přesnější.

Optimální použití filtrů se rovněž odvíjí od výskytu typických tuhých příměsí v atmosférickém nebo oběhovém vzduchu s různou velikostí částice a požadavku na jejich účinné odloučení (např. pyly, plísně, bakterie, viry, saze, kouř aj.).

Z uvedeného vyplývá význam informace o odlučovacích schopnostech filtrů, která přispívá nejenom k jejich správné volbě z hlediska odlučování, ale i k zasvěcenému odhadu životnosti filtru, tj. stanovení doby provozu v hodinách (dnech) do dosažení výrobcem stanovené maximální doporučené tlakové ztráty.

Důležitou informací pro uživatele v tomto směru je jímavost filtru. Jímavost filtru je takové množství odloučeného zátěžového prachu v [g], kdy tlaková ztráta filtru dosáhne doporučené konečné (maximální) hodnoty a při dalším provozu filtru dochází k postupnému snižování odlučivosti a k postupnému uvolňování již odloučených částic. Bohužel informaci o jímavosti filtru v [g] nelze přímo použít pro odhad životnosti filtru při jeho konkrétní aplikaci, neboť změna tlakové ztráty filtru při jeho zanášení závisí nejenom na hmotnosti zachyceného prachu, ale i jeho zrnitosti. Jemnější zachycený prach způsobuje při stejné hmotnosti zachyceného prachu větší změnu tlakové ztráty než prach hrubý.

Odhad celkové odlučivosti filtru a jeho životnosti patří mezi základní úkoly projektanta a představuje náročnou technickou úlohu.

V následujícím textu je uveden přehled dosud používané normalizace filtrů pro všeobecné větrání dle EN (ČSN EN) a ASHRAE z hlediska odlučovacích schopností filtrů a důležité novinky z normalizace dle ISO, které se v dohledné době zobrazí i v normách EN.

VÝVOJ VE ZKOUŠENÍ A TŘÍDĚNÍ FILTRŮ PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ DLE EN

EN 779:1993 a ČSN EN 779:1996 [1]

Evropská norma EN 779 z roku 1993 byla v ČR v roce 1995 převzata překladem - ČSN EN 779 „Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic u běžného větrání“. Norma EN 779 vycházela z původních norem sdružení evropských výrobců vzduchotechnických zařízení EUROVENT 4/5 a americké ASHRAE 52-76 a je proto možno říci, že se používala celosvětově.

EN 779:2002 a ČSN EN 779:2003 [2]

V roce 2002 došlo v CEN k novelizaci normy a do naší normalizační struktury byla zařazena jako ČSN EN 779 „Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů“ v červnu 2003 v původním anglickém znění [2].

Měření a následné hodnocení filtrů se provádí na zkušebním zařízení, které umožňuje podávání zkušebního syntetického prachu do vzduchu. Původní zkouška atmosférickým vzduchem a vyhodnocení tzv. opacitometrické odlučivosti, zjištěné fotometricky z odebraných vzorků atmosférického prachu na filtry ze skleněných vláken před a za zkoušeným filtrem [1], bylo nahrazeno jasně definovaným měřením odlučivosti frakce částic se střední velikostí 0,4 μm s použitím optických počítačů částic. Zkouší se ty filtry, kde počáteční odlučivost pro částice 0,4 μm je menší než 98 %.

Zkouška končí po dosažení tlakové ztráty filtru 250 Pa u hrubých filtrů třídy G nebo 450 Pa u jemných filtrů třídy F nebo jestliže u dané dávky syntetického prach je zjištěná odlučivost na syntetický prach nižší než 75 % maximání hodnoty nebo 2 zjištěné hodnoty jsou nižší než 85 % maximální hodnoty.

Jestliže střední odlučivost na aerosolové částice 0,4 μm E_m je nižší než 40 %, filtr je zařazen mezi hrubé filtry a jeho zatřídění je provedeno podle střední odlučivosti na syntetický prach A_m. Jestliže $E_m \geq 40$ %, filtr je zařazen mezi jemné filtry a konkrétní zatřídění je podle dosažené hodnoty E_m dle tab. 1.

Zkušební prach „ASHRAE 52.1 synthetic test dust“ je směsí, která se skládá z:

- 72 % hmotnosti jemného pouštního písku („Arizona dust road“ – ISO 12103-1),
- 23 % sazí („carbon black“) a
- 5 % bavlněných vláken vznikajících při zpracování bavlny („cotton linters“).

Odlučivost na syntetický prach A se zjišťuje vážením (gravimetricky).

Filtry se zatřiďují do jednotlivých skupin a tříd podle dosažených hodnot středních odlučivostí A_m a E_m a v tabulce stanovených hraničních hodnot.

Je zajímavé, že hraniční hodnoty E_m pro zatřídění jemných filtrů do jednotlivých tříd F5 až F9 zůstaly stejné jak u zatřídění dle opacitometrické odlučivosti u ČSN EN 779:1996 [1], tak u zatřídění dle střední účinnosti filtrace E_m pro částice 0,4 μm u ČSN EN 779:2003 [2].

Tab. 1 *Třídění filtrů atmosférického vzduchu dle ČSN EN 779:2003 [2]*

Třída filtru		**Hraniční hodnoty třídy**	
		A_m **[%]**	E_m **[%]**
hrubý	G1	$A_m < 65$	-
	G2	$65 \leq A_m < 80$	-
	G3	$80 \leq A_m < 90$	-
	G4	$90 \leq A_m$	-
jemný	F5	-	$40 \leq E_m < 60$
	F6	-	$60 \leq E_m < 80$
	F7	-	$80 \leq E_m < 90$
	F8	-	$90 \leq E_m < 95$
	F9	-	$95 \leq E_m$

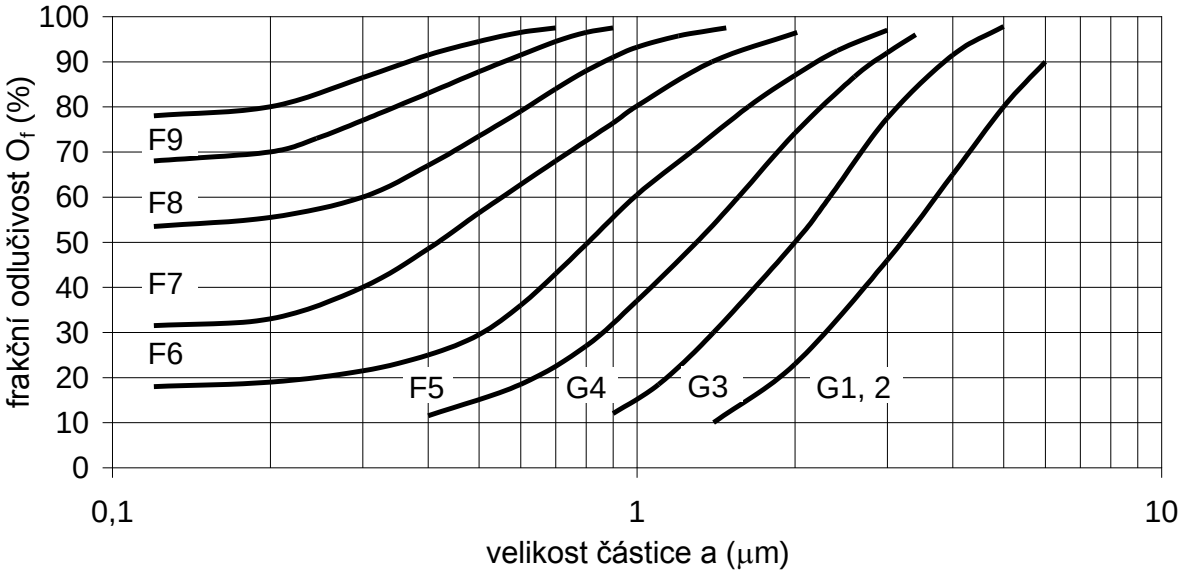
Frakční odlučivost filtrů pro všeobecné větrání

Praktické využití výsledků zatřídění filtru do některé z tříd G nebo F je pro uživatele samo o sobě velmi omezené. Naměřené účinnosti na syntetický prach i částice 0,4 μm a naměřené jímavosti na syntetický prach nejsou přímo aplikovatelné do praxe. Výsledky měření tak slouží zejména výrobcům pro vzájemné porovnání filtrů a filtračních materiálů. Pro uživatele zde schází základní informace o odlučovacích schopnostech filtrů, vyjádřených závislostí frakční odlučivosti na velikosti částice O_f *(a)*, podle které je možno při použití filtru předpokládat účinnost odloučení určitých typických částic, např. cigaretového kouře nebo organických příměsí (např. pylů, plísní, bakterií, virů).

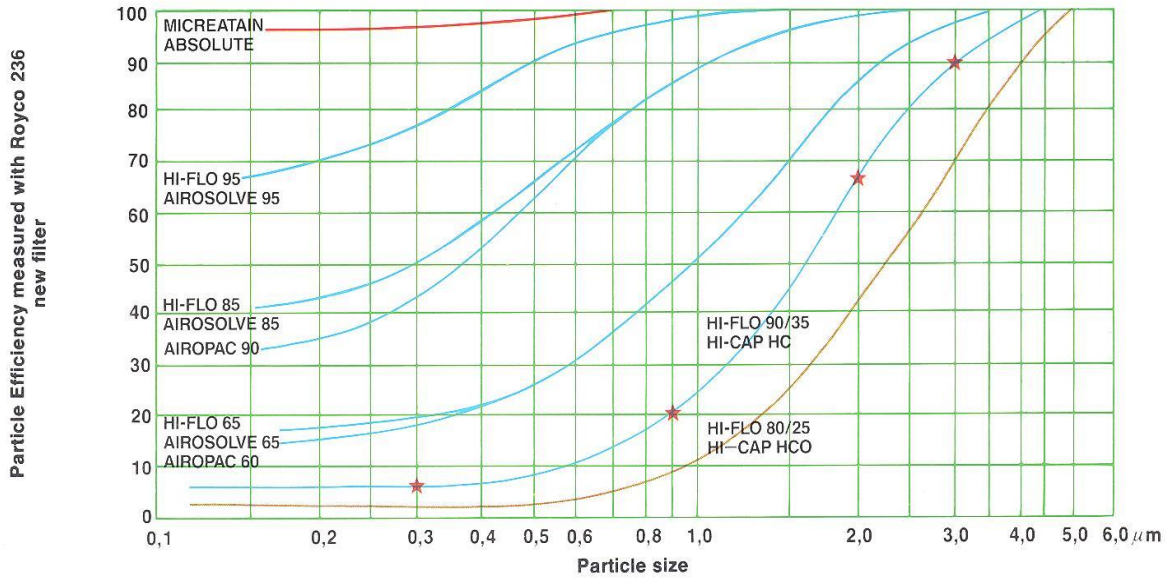
Měření frakční odlučivosti filtrů se s rozvojem moderních měřicích metod s využitím počítačů částic stalo v posledních letech standardem a renomovaní výrobci filtrů tak kromě třídy filtrů uvádějí ve svých materiálech i výsledky těchto měření.

Na obr. 1 jsou např. uvedeny rozsahy frakční odlučivosti u filtrů jednotlivých tříd dle podkladů LVZ Liberec [3]. Tyto významné výsledky byly získány již v 90. letech měřením frakčních odlučivostí filtrů pomocí laserového počítače částic LAS-X.

Podobné závislosti O_f *(a)* byly v prospektových materiálech firmy Camfil publikovány již 80. letech, obr. 2. Tyto odlučovací schopnosti byly zjišťovány u jednotlivých filtrů na zkušební trati dle EN 779 s použitím laserového počítače částic Royco.



Obr. 1 *Frakční odlučivosti filtrů pro všeobecné větrání* [3]



Obr. 2 *Frakční odlučivosti filtrů pro všeobecné větrání firmy Camfil*

Z průběhu $E_f(a)$ u hrubých filtrů G vyplývá, že tyto třídy filtrů jsou použitelné pouze pro odlučování částic větších než 1 μm. U jemných filtrů F dochází k dílčímu odlučování i částic submikronových velikostí. Čím vyšší třída filtru, tím vyšších odlučivostí se dosahuje pro jemné částice. Z odlučovacích schopností filtrů jednotlivých tříd a vyjádření zrnitosti atmosférického prachu a typických příměsí v atmosférickém vzduchu vychází i doporučení pro použití těchto filtrů u všeobecného větrání.

Změny v třídění filtrů podle revize z roku 2012 - ČSN EN 779:2012 [4]

V roce 2012 byla v CEN ukončena několik let trvající revize normy EN 779:2003, která přinesla změny v označení skupin a tříd filtrů a zavedení procedury, která u jemných filtrů ze syntetických vláken eliminuje vliv elektrického náboje na odlučovací schopnosti a zatřídění filtrů. Do struktury ČSN byla norma zařazena překladem jako ČSN EN 779:2012.

Původní třídicí systém filtrů podle ČSN EN 779:2003 (obsahující třídy filtrů F a G) byl dle ČSN EN 779:2012 změněn na tři třídy filtrů (F - jemné, M - střední a G – hrubé filtry).

Filtry, u nichž byla pro kapalné částice DEHS průměru 0,4 μm zjištěna hodnota střední účinnosti E_m < 40 %, jsou zařazeny do třídy G a účinnost E_m je uvedena jako „< 40 %“. Třídění hrubých filtrů (G1–G4) je založeno na jejich střední odlučivosti A_m na syntetický zátěžový prach.

Filtry, u nichž byla zjištěna hodnota střední účinnosti filtrace od 40 % do hodnoty < 80 %, jsou zařazeny do třídy M (M5, M6) a jejich zatřídění je založeno na hodnotě střední účinnosti filtrace E_m. Třídy filtrů F5 a F6 se formálně změnily na M5 a M6 se stejnými požadavky jako u starého třídicího systému.

Filtry, u nichž byla zjištěna hodnota střední účinnosti filtrace E_m 80 % a více, jsou zařazeny do třídy F (F7 – F9) a jejich zatřídění je založeno na hodnotě střední účinnosti filtrace E_m jako u původního systému a hodnotě minimální účinnosti filtrace během zkoušky E_{min}.

Minimální účinnost filtrace E_{min} je nejnižší hodnota účinnosti filtrace pro částice 0,4 μm mezi počáteční účinností filtrace, účinností filtrace po vybití filtračního materiálu a nejnižší hodnotou účinnosti filtrace během zátěžového postupu zkoušení filtru.

Zatřídění filtrů atmosférického vzduchu podle ČSN EN 779:2012 je shrnuto v tab. 2

Tab. 2 *Třídění filtrů atmosférického vzduchu dle ČSN EN 779:2012 [4]*

Skupina	**Třída**	**Konečná tlaková ztráta [Pa]**	**Střední odlučivost A_m na syntetický prach [%]**	**Střední účinnost filtrace E_m pro částice 0,4 μm [%]**	**Minimální účinnost filtrace pro částice 0,4 μm [%]**
hrubý	G1	250	$50 \le A_m < 65$	-	-
	G2	250	$65 \le A_m < 80$	-	-
	G3	250	$80 \le A_m < 90$	-	-
	G4	250	$90 \le A_m$	-	-
střední	M5	450	-	$40 \le E_m < 60$	-
	M6	450	-	$60 \le E_m < 80$	-
jemný	F7	450	-	$80 \le E_m < 90$	35
	F8	450	-	$90 \le E_m < 95$	55
	F9	450	-	$95 \le E_m$	70

Zavedením požadavku na minimální účinnosti filtrace pro částice 0,4 μm se u zatřídění filtrů respektuje pozorovaná změna odlučovacích schopností některých filtračních materiálů ze syntetických vláken, které díky elektrickému náboji filtračního materiálu z výroby dosahovaly při zatřídění podle původní EN vyšších hodnot, ale v praxi po neutralizaci elektrického náboje se odlučovací schopnosti významně zhoršily.

Filtry jsou zatříděny podle jejich střední účinnosti odlučování E_m nebo střední odlučivosti A_m na syntetický zátěžový prach při následujících jmenovitých zkušebních podmínkách:

- průtok atmosférického vzduchu při zkoušce musí být 0,944 m^3/s (3 400 m^3/h) pokud výrobce neurčí žádný jmenovitý objemový průtok vzduchu;
- 250 Pa jako maximální konečná tlaková ztráta pro hrubé (G) filtry;
- 450 Pa jako maximální konečná tlaková ztráta pro střední (M) a jemné (F) filtry.

Filtry zkoušené při průtocích a konečných tlakových ztrátách jiných, než výše uvedených se zatřiďují podle hraničních hodnot v tabulce a jejich zatřídění je blíže určeno zkušebními podmínkami uvedenými v závorkách.
Kromě eliminace vlivu elektrostatického náboje na zatřídění filtrů novela normy z roku 2012 z hlediska informace o odlučovacích schopnostech filtrů jednotlivých tříd nic nového nepřinesla.

Cenné informace o odlučovacích schopnostech filtrů pro všeobecné větrání

Jako příklad cenných dodatečných informací o odlučovacích schopnostech filtrů je v následující tab. 3 ukázka z nových podkladů firmy Camfil [5], kde pro uživatele uvádí informace o očekávaných odlučivostech jednotlivých tříd filtrů dle EN 779 pro odlučování frakcí částic atmosférického prachu PM_1, $PM_{2,5}$ a PM_{10}.

Tab. 3 *Typické odlučivosti jednotlivých tříd filtrů dle EN 779 pro částice atmosférického prachu frakcí PM_1, $PM_{2,5}$ a PM_{10} [5]*

Třída filtrů	PM_1	$PM_{2,5}$	PM_{10}
M5	< 20 %	< 40 %	> 50 %
M6	< 40 %	50 – 60 %	> 60 %
F7	50 – 75 %	> 70 %	> 80 %
F8	70 – 85 %	> 80 %	> 90 %
F9	> 85 %	> 90 %	> 95 %

VÝVOJ VE ZKOUŠENÍ A TŘÍDĚNÍ FILTRŮ PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ DLE ASHRAE 52

Jak již bylo uvedeno v předcházející kapitole, základem pro první evropskou normu v oblasti filtrace pro všeobecné větrání byly předpisy Eurovent 4/5 a ASHRAE 52-76 [6] .

ASHRAE 52-76 [6]

Filtry jsou zkoušeny střídavě atmosférickým prachem a stanovena hodnota „Atmospheric dust spot efficiency“ – opacitometrické odlučivosti na atmosférický prach E_i [%] a syntetickým prachem a stanovena hodnota „Weight arrestance“ - váhové odlučivosti A_i [%]. Cyklus měření tlakové ztráty $\Delta p_{z,i}$ [Pa], opacitometrické odlučivosti na atmosférický prach E_i [%] a váhové odlučivosti A_i [%] se ukončí, jestliže je po dávce syntetického prachu překročena výrobcem stanovená maximální tlaková ztráta nebo po dávce syntetického prach je zjištěná odlučivost na syntetický prach nižší než 75 % maximální hodnoty nebo 2 zjištěné hodnoty jsou nižší než 85 % maximální hodnoty. Z jednotlivých hodnot A_i [%] a E_i [%] se stanoví střední hodnoty A_{avg} [%] a E_{avg} [%].

Protokol o měření kromě údajů o filtru, výrobci, zkušebních podmínkách obsahuje:

počáteční tlakovou ztrátu, počáteční hodnotu opacitometrické odlučivosti na atmosférický prach E_0 [%], střední hodnotu E_{avg} [%], konečnou tlakovou ztrátu nebo maximální a

minimální tlakovou ztrátu, střední hodnotu A_{avg} [%], hodnotu jímavosti na syntetický prach, stanovenou jako násobek A_{avg} [%] a hmotnosti podaného prachu.

Filtry podle ASHRAE 52-76 nejsou zařazeny do žádných kategorií nebo tříd.

ASHRAE 52.1-1992 [7]

Prakticky stejný postup zkoušení filtrů pro všeobecné větrání zůstává i podle novely ASHRAE 52.1-1992.

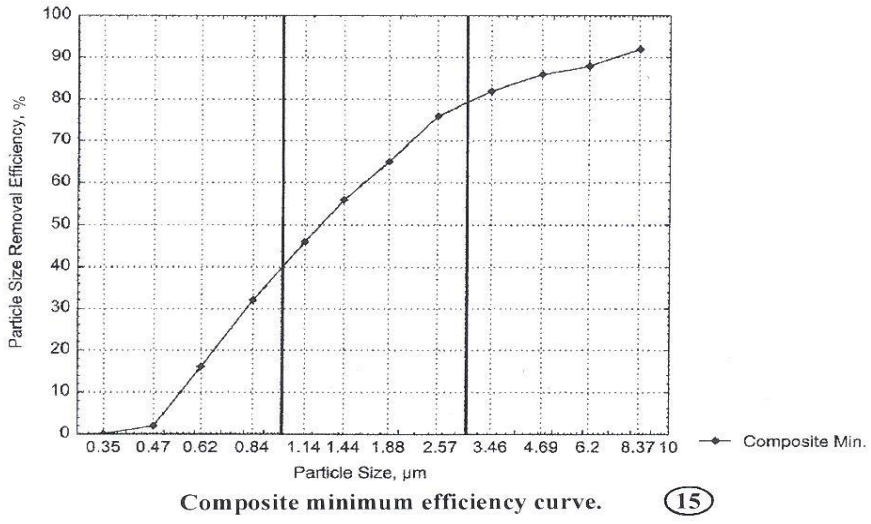
ASHRAE 52.2-1999 [8]

Významnou změnu přináší standard ASHRAE 52.2-1999, který reaguje na požadavky zákazníků o minimálních odlučovacích schopnostech filtru, obvykle počáteční odlučovací schopnosti čistého filtru. Druhým cílem změny bylo poskytnout uživatelům jednoduchou číselnou hodnotu, podle které se zvolí vhodný filtr. Touto hodnotou je MERV – Minimum Efficiency Reporting Value.

U předcházející verze standardu byl k zatřídění použit atmosférický vzduch (prach). Protože se atmosférické podmínky mění oblast od oblasti a podle časového období, nastávaly případy, že stejný filtr poskytnul dle zkoušky na atmosférický prach různé výsledky.

U nového standardu ASHRAE 52.2-1999 zkušební vzduch prochází HEPA filtrem a kontroluje se jeho teplota a vlhkost. K zatřídění filtru pak slouží zkušební aerosol tvořený rozprášením vodní suspenze chloridu draselného KCL obsahujícím stabilní částice v rozsahu velikostí 0,3 až 10 μm. Pro zatřídění se velikostní rozsah dělí na 12 intervalů s hraničními velikostmi 0,30; 0,40; 0,55; 0,70; 1,00; 1,30; 1,60; 2,20; 3,00; 4,00; 5,50; 7,00 a 10,00 μm. Vyhodnocení účinnosti se provádí odběrem a vyhodnocením vzorků aerosolu před a za filtrem pomocí počítače částic.

Během zkušebního testu se zjišťuje závislost frakční odlučivosti na velikosti částice $E_f(a)$, tvořené z jednotlivých 12 bodů, odpovídajících střední hodnotě jednotlivých velikostních intervalů. Tato závislost se zjišťuje u čistého filtru a postupně po 4 dávkách zkušebního zátěžového prachu (ASHRAE Test Dust) a po poslední dávce po dosažení konečné tlakové ztráty (Minimum Final Resistance). U každého velikostního intervalu se stanoví minimální hodnota odlučivosti a vytvoří závislost $E_{f,min}$ *(a)* – „the composite minimum efficiency curve" – viz obr. 3



Obr. 3 *Experimentálně zjištěná závislost $E_{f,min}$ (a)*

Pro zatřídění filtrů se zjištěná závislost $E_{f,min}$ *(a)* rozdělí do 3 oblastí. Oblast 1 odpovídá jemným částicím a ze 4 jednotlivých hodnot $E_{f,min,i}$ se stanoví střední hodnota E_1 [%]. Podobně pro oblast velikostí částic 1 až 3 μm se ze 4 hodnot stanoví střední hodnota E_2 [%] a pro oblast velikostí částic 3 až 10 μm střední hodnota E_3 [%]. Filtry jsou podle dosažených hodnot A_{avg} [%] a E_1, E_2, E_3 zatříděny do 16 tříd MERV1 až MERV16 dle hodnot v tab. 4. Další podmínkou zatřídění je, že filtry musí být provozovány do konečné hodnoty tlakové ztráty v [Pa], uvedené v posledním sloupci tabulky.

Tab. 4 *Zatřídění filtrů dle ASHRAE 52.2-1999*

Standard 52.2 - 1999	**Rozsah 1**	**Rozsah 2**	**Rozsah 3**	**Střední hodnota**	**Konečná hodnota tlakové ztráty**
	0,3 až 1,0 μm	**1,0 až 3,0 μm**	**3,0 až 10,0 μm**	A_{avg} **[%]**	**[Pa]**
MERV	E_1 **[%]**	E_2 **[%]**	E_3 **[%]**		
1	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$A_{avg} < 65$	75
2	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$65 \le A_{avg} < 70$	75
3	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$70 \le A_{avg} < 75$	75
4	N/A	N/A	$E_3 < 20$	$75 \le A_{avg}$	75
5	N/A	N/A	$20 \le E_3 < 35$	N/A	150
6	N/A	N/A	$35 \le E_3 < 50$	N/A	150
7	N/A	N/A	$50 \le E_3 < 70$	N/A	150
8	N/A	N/A	$70 \le E_3$	N/A	150
9	N/A	$E_2 < 50$	$85 \le E_3$	N/A	250
10	N/A	$50 \le E_2 < 65$	$85 \le E_3$	N/A	250
11	N/A	$65 \le E_2 < 80$	$85 \le E_3$	N/A	250
12	N/A	$80 \le E_2$	$90 \le E_3$	N/A	250
13	$E_1 < 75$	$90 \le E_2$	$90 \le E_3$	N/A	350
14	$75 \le E_1 < 85$	$90 \le E_2$	$90 \le E_3$	N/A	350
15	$85 \le E_1 < 95$	$90 \le E_2$	$90 \le E_3$	N/A	350
16	$95 \le E_1$	$95 \le E_2$	$95 \le E_3$	N/A	350

ANSI/ASHRAE 52.2-2007 [9]

U poslední novely ASHRAE 52.2 z roku 2007 nedochází k zásadním změnám oproti verzi z roku 1999.

Na základě garantovaných odlučovacích schopností se odvíjí i doporučení pro použití jednotlivých tříd filtrů, uvedené v tab. 5 podle údajů v [10].

Standard ASHRAE 52.2-1999 ani ASHRAE 52.2-2007 nenabízejí žádnou informaci o jímavosti, resp. životnosti filtru. Jímavost filtru (Dust Holding Capacity) u standardů

ASHRAE 52.2 nepatří mezi tzv. uváděné parametry (reporting results). Informaci o jímavosti filtru poskytuje předpis ASHRAE 52.1-1992.

Tab. 5 *Doporučení pro použití jednotlivých tříd filtrů [10]*

MERV	**Typické znečišťující látky**	**Typické použití**
13 až 16	0,3 – 1,0 μm Všechny bakterie, většina cigaretového kouře, kondenzační jádra, kuchyňský olejový aerosol, toner do kopírek, pleťový pudr, práškové barvy	Nemocniční lůžková péče, obecná chirurgie, kuřácké salonky, nadstandardní obchodní budovy.
9 až 12	1,0 – 3,0 μm Legionella, olovnatý prach, mletá mouka, uhelný prach, tuhé emise z automobilů, kapičky z rozprašovačů, kouř vznikající při svařování	Nadstandardní obytné budovy, lepší obchodní budovy, nemocniční laboratoře.
5 až 8	3,0 – 10,0 μm Plísně, výtrusy rostlin, sprej na vlasy, šňupací tabák, práškové mléko	Běžné obchodní budovy, lepší obytné budovy, průmyslové pracovní prostory, přívod vzduchu do stříkacích kabin.
1 až 4	Větší než 10 μm Pyl, španělský mech, prachoví roztoči, pouštní prach (písek), sprejové barvy, prach, textilní vlákna, kobercová vlákna	Minimální filtrace v obytných budovách, podokenní klimatizační jednotky.

ZKOUŠENÍ A TŘÍDĚNÍ FILTRŮ PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ DLE ISO 16890

Důležitým krokem v oblasti zkoušení a třídění filtrů pro běžné větrání je vznik ISO normy ISO 16890 z prosince 2016 [11], která při zkoušení a třídění filtrů zavádí nové indikátory – frakce atmosférického prachu PM_{10}, $PM_{2,5}$ a PM_1. Jednotlivé třídy filtrů jsou definovány podle dosažené odlučivosti pro uvedené frakce atmosférického prachu. Převzetí této normy do struktury norem EN se předpokládá do 18 měsíců od zavedení jako ISO norma a jako norma ISO EN se kromě USA předpokládá její široké uplatnění ve světě.

Frakce atmosférického prachu PM_{10}, $PM_{2,5}$ a PM_1 jsou v ochraně ovzduší definovány jako částice atmosférického prachu menší než aerodynamická velikost částice 10, 2,5 a 1,0 μm. Velikost částic atmosférického prachu je zde vyjádřena ve formě tzv. aerodynamické velikosti částice, tj. průměru kulové částice o jednotkové hustotě materiálu částice 1000 kg/m^3, která má stejné pohybové vlastnosti, jako částice skutečná nekulového tvaru.

Protože nelze sestrojit ideální třídič, který roztřídí polydisperzní soubor částic na dvě frakce – hrubou a jemnou, je frakce PM_x v příslušných předpisech v ochraně ovzduší, ale i v ISO

16890 zjednodušeně definována jako soubor částic atmosférického prachu, který projde selektivním třídičem s třídicí účinností 50 % právě u aerodynamické velikosti částice 10, 2,5 a 1,0 μm. Protože reálná třídicí křivka je ve tvaru písmena „S“, odtříděný soubor jemných částic, tj. frakce PM_x , tak ve skutečnosti obsahuje i určité množství větších částic než x = 10, 2,5 a 1,0 μm. Naopak odtříděný soubor hrubých částic obsahuje určité množství částic menších než x = 10, 2,5 a 1,0 μm.

Frakce částic PM_{10}, $PM_{2,5}$ a PM_1 byly v ochraně ovzduší zavedeny podle jejich měnících se zdravotních rizik při dýchání atmosférického prachu nosem (ISO 7708). Částice aerodynamické velikosti větší než 10 μm se zachytávají v horních cestách dýchacích (hrtanu) a nejsou tak vdechovány. Částice menší než 10 μm pronikají do průdušek, částice menší než 2,5 μm pronikají do plicních sklípků a částice menší než 1,0 μm pronikají alveolo-kapilární bariérou a dostávají se do krevního řečiště.

Vlastní předpis ISO 16890 pracuje s účinností ePM_x, která vyjadřuje hmotnostní účinnost odlučování „zařízení“ (filtru), stanovenou pro částice atmosférického prachu v rozsahu opticky stanovených velikostí částic 0,3 až x μm – viz tab. 4.

Tab. 4 *Rozsah velikostí částic při stanovení účinnosti odlučování*

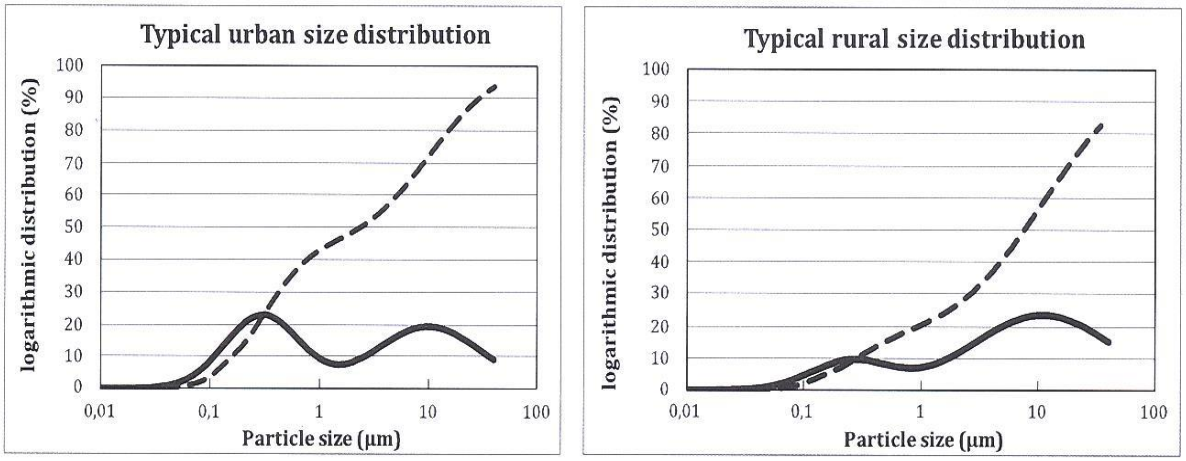
Účinnost odlučování	**Rozsah opticky stanovených velikostí částic [μm]**
ePM_{10}	$0,3 \leq x \leq 10$
$ePM_{2,5}$	$0,3 \leq x \leq 2,5$
ePM_1	$0,3 \leq x \leq 1$

Poznámka autora:
U tohoto předpisu se zanedbává rozdíl mezi aerodynamickým průměrem částice, který se používá v ochraně ovzduší při definici frakce PM_x a opticky stanovenou velikostí částice, použité při definici hodnoty ePM_x.

Metoda a postup měření

Při zkoušce filtru se jeho odlučovací schopnosti měří v rozsahu opticky stanovených velikostí částic 0,3 až 10 μm ve 12 velikostních intervalech nejprve u čistého a elektricky neupraveného filtru (unconditioned) podle postupu uvedeného v části ISO 16890-2. Měřením se získají jednotlivé hodnoty účinnosti odlučování E_i [%].
Po neutralizaci náboje filtračního materiálu dle části ISO 16890-4 se opět zjistí odlučovací schopnosti elektricky neutrálního filtru ve 12 velikostních intervalech v rozsahu velikostí částic 0,3 až 10 μm, hodnoty $E_{D,i}$ [%]. Závislost E_D *(a)* se považuje za minimální hodnoty frakční odlučivosti filtru.
Zatěžováním filtru jemným syntetickým prachem L2 dle ISO 15957 a postupem uvedeným v části ISO 16890-3 se stanoví počáteční hodnota odlučivosti filtru na syntetický prach, dále závislost změny tlakové ztráty filtru na hmotnosti zachyceného prachu a stanoví se hodnota jímavosti filtru (test dust capacity).
Z jednotlivých zjištěných hodnot E_i a $E_{D,i}$ se stanoví střední aritmetické hodnoty $E_{A,i}$, které se dále považují za střední hodnoty, podle kterých se bude filtr chovat v reálných podmínkách.
Jednotlivé hodnoty $E_{A,i}$ [%], resp. závislost E_A *(a)* se dále použije pří výpočtu hodnoty odlučivosti filtru ePM_x v rozsahu velikostí částic 0,3 až x μm. K výpočtu hodnot ePM_x [%] se použije průměrné složení atmosférického prachu v městských oblastech (urban) a ve venkovních oblastech (rural), rozdělení velikostí částic dle hmotnosti (objemu) a to ve formě vyjádření četnosti a kumulativní křivky zrnitosti – křivky propadů. Charakteristickým znakem

obou typických atmosférických prachů je bimodální rozdělení četnosti mezi jemným a hrubým módem atmosférického prachu – viz obr. 4



Obr. 4 *Průměrné složení atmosférického prachu v městských a venkovních oblastech*

Podle doporučení v ISO se filtry, které se většinou používají k odlučování částic frakce PM_1 a $PM_{2,5}$, zatřiďují podle složení atmosférického prachu v městských oblastech a filtry určené především k odlučování částic frakce PM_{10} se zatřiďují podle složení aerosolu ve venkovních oblastech. Vypočtené hodnoty ePM_1 a $ePM_{2,5}$ [%] proto vycházejí z distribuční křivky pro městský aerosol, hodnota ePM_{10} [%] pak z distribuční křivky pro venkovní aerosol. Připomínám, že k výpočtu hodnot ePM_x [%] se používají zjištěné střední aritmetické hodnoty odlučivostí $E_{A,i}$ [%] u jednotlivých velikostních frakcí.
Kromě těchto "středních" hodnot, které patří mezi hlavní uváděné parametry filtru (class reported value) se při zpracování výsledků měření výpočet doplňuje stanovením minimálních hodnot $ePM_{1,min}$ a $ePM_{2,5,min}$ [%] podle zjištěných hodnot minimálních odlučivostí $E_{D,i}$ [%] u jednotlivých velikostních frakcí.
Na základě výsledků zkoušek jsou filtry zatříděny podle splnění požadavků pro $ePM_{1,min}$ a $ePM_{2,5,min}$ [%] a pro ePM_{10} [%] do následujících tříd – viz tab. 6.

Tab. 6 *Zatřídění filtrů dle ISO 16590*

Třída filtrů	**Požadavek na třídu filtrů**			**Uváděná hodnota u filtrů**
	$ePM_{1,min}$	**$ePM_{2,5,min}$**	**ePM_{10}**	
ISO hrubý	-	-	< 50 %	Počáteční hodnota odlučivosti na syntetický prach
ISO ePM_{10}	-	-	> 50 %	ePM_{10}
ISO $ePM_{2,5}$	-	> 50 %	-	$ePM_{2,5}$
ISO ePM_1	> 50 %	-	-	ePM_1

Kromě tohoto hrubého zatřídění se u každého zkoušeného filtru uvádí zjištěná hodnota ePM_x [%], stanovená podle zjištěných středních hodnot frakčních odlučivostí $E_{A,i}$ [%]. Hodnota ePM_x [%] se uvádí zaokrouhlená dolů na násobek 5 %.
Výjimku v uváděných parametrech filtru tvoří třída filtrů ISO hrubý, kde se jako výsledek zkoušení uvádí počáteční hodnota odlučivosti na syntetický prach.
Norma ISO 16890 přináší nové cenné informace o odlučovacích schopnostech filtrů a po začlenění do struktury EN pravděpodobně v roce 2018 se předpokládá její široké uplatnění

především v Evropě. Ve světě pak budou dále vedle sebe koexistovat oba systémy ISO 16890 a ASHRAE 52.2-2007 ve spojení s ASHRAE 52.1-1992.
Poznámka autora:
ISO 16890 pracuje s účinností ePM_x, stanovenou pro částice atmosférického prachu v rozsahu velikostí částic 0,3 až *x* μm. Hmotnostní podíl částic menších než 0,3 μm je u běžného atmosférického prachu nezanedbatelný a tvoří řádově 10 až 30 % procent celkové hmotnosti prachu. Jak vyplývá z grafů na obr. 1 a 2, má u všech tříd filtrů závislost O_f *(a)* obecně klesající tendenci se zmenšováním velikosti částice. Jestliže bychom chtěli stanovit odlučivost filtru pro celou frakci částic PM_x, potom příspěvek odloučených částic v rozsahu velikostí 0 až 0,3 μm bude vždy menší, než stanovená hodnota ePM_x pro částice větší než 0,3 μm. Výsledkem těchto úvah je závěr, že skutečná odlučivost filtru pro částice frakce PM_x, tedy E_{PMx} [%], bude vždy poněkud menší než hodnota ePM_x. Obecně však platí, že vyšším uváděným hodnotám ePM_x odpovídají vyšší předpokládané hodnoty E_{PMx} [%].
V normě uváděné hodnoty ePM_x jednotlivých tříd filtrů tak přesně neodpovídají předpokládané odlučivosti filtrů pro částice frakce PM_x, tedy E_{PMx} [%], hodnoty ePM_x je však možno považovat za „míru odlučivosti“ pro frakce částic PM_x, tj. filtry s vyššími hodnotami ePM_x budou dosahovat vyšších hodnot E_{PMx} [%].

ZÁVĚR

Příspěvek se zabývá vývojem ve zkoušení a třídění filtrů pro běžné větrání v Evropě a USA a přináší nové informace o zkoušení a třídění filtrů dle ISO 16890. Důraz je kladen na využití informace o třídě filtrů a jeho odlučovacích schopnostech, které uživateli slouží k odhadu celkové odlučivosti a následně životnosti filtru.

LITERATURA

[1] ČSN EN 779 +AC:1996 Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic u běžného větrání – Požadavky, zkoušení, označování. ČNI, 1995
[2] ČSN EN 779:2003 Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů. ČNI, 2003
[3] MOJŽÍŠ, M. Třídění a použití filtrů atmosférického vzduchu z hlediska současných norem. *VVI 2/95*, s. 85 – 88
[4] ČSN EN 779:2012 Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů. ÚTNMZ, 2010
[5] PM1 – Fine Dust Hazard to Health, Clean Air Solutions, Camfil, 2017
[6] ASHRAE 52-76 Method of Testing Air-Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter, ASHRAE, 1976
[7] ASHRAE 52.1-1992 Gravimetric and Dust-Spot Pfrocedures for Testing Air-Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter, ASHRAE, 1992
[8] ANSI/ASHRAE STANDARD 52.2-1999 Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, ASHRAE. 1999
[9] ANSI/ASHRAE STANDARD 52.2-2007 Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, ASHRAE. 2007
[10] Camfil Far Technical Services Bulletin – ASHRAE Testing for HVAC Air Filtration – A Review of Standards 52.1-1992 & 52.5-1999, Camfil Farr, 2002
[11] ISO 16890-1 Air filters for general ventilation – Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM), ISO 2016

NÁVRH A PROJEKTOVÁNÍ DATOVÝCH CENTER

Pavel Herout

ALTRON

pavel.herout@altron.cz

ÚVOD

Datová centra jsou technologické celky určené především pro provoz informační a telekomunikační technologie v mnoha různých oborech podnikání, vzdělávání, výzkumu, vývoje a státní správy. Vzhledem ke specifickým potřebám užívání informační a telekomunikační technologie (dále jen ICT) se ve většině případů jedná o provozy s nepřetržitou dodávkou elektrické energie. Datová centra neslouží pouze k ukládání dat, ale i k jejich zpracování a distribuci přes datové sítě.

Z tohoto účelu a charakteristiky provozu vychází tato technologická centra jako provozy s významnou spotřebou elektrické energie. Největším spotřebičem elektrické energie v datovém centru je logicky provozované ICT zařízení. Naprosto převážná část spotřebované energie pro ICT je transformována do tepelné energie. Analogicky druhým největším spotřebičem je systém odvodu tepla od ICT zařízení, které se stará o efektivní a efektní přenos tepelné energie do okolního prostředí.

Informační a telekomunikační technologie se v poslední době ukazují ve většině oblastí podnikání a národního hospodářství. Na příkladu rozvoje internetu a sociálních sítí v posledních 20 letech lze ukázat obrovský nárůst potřeby zpracování a přenosu dat. Znásobení provozu dat na internetu dosáhlo mezi lety 1997 a 2016 takřka šesti řádů (100 GB / hod vs. 26 600 GB / s) [1]. S tímto „astronomickým“ navýšením je spojený významný vliv na životní prostředí prezentovaný požadavkem na enormní výrobu elektrické energie a zpracování nerostného bohatství pro výrobu elektronického zařízení.

Při návrhu a projektování datových center je nutno brát zřetel především na snižování energetické náročnosti, dostupnost provozovaného ICT zařízení a udržitelnost provozu DC s ohledem na změny vyvolané klimatem a náročností zpracovávaných aplikací. Vzrůstající součinností odborníků s řad výrobců ICT zařízení a projektantů datových center vznikají synergické objekty poskytující výpočetní výkony s vysokou přidanou hodnotou a minimální uhlíkovou stopou.

Projektová dokumentace zasahuje do celého životního cyklu DC. Návrh datového centra prochází procesem plánování, které začíná případovou studií potažmo obchodním plánem, následuje projektovou dokumentací v rozsahu podle platného znění příloh č. 5 a 6 vyhlášky č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb a pokračuje provozní dokumentací. Těmito činnostmi se zabývají specializovaní odborníci, kteří vycházejí jak z vlastních zkušeností tohoto rychle se rozvíjejícího oboru, tak z pokladů a norem definovaných např. společnostmi ASHRAE, Green Grid nebo Uptime Institute.

DATOVÁ CENTRA

Datová centra lze dělit dle různých hledisek, některé z nich lze vyjmenujeme. Z pohledu účelu provozovaných ICT lze DC dělit například na korporátní nebo hostingová. Ve druhém uváděném případě slouží DC plně pro komerční účely pronájmu ploch nebo míst v rackových pozicích pro zákaznická zařízení nebo aplikace. Dalším způsobem můžeme dělit DC na pevná, kontejnerová a microDC. V neposlední řadě lze DC dělit podle jejich priority použití na primární a záložní.

Ve většině případů jsou ICT zařízení usazena v rackových rozvaděčích, které jsou uzpůsobeny pro jejich montáž, chlazení a připojení na napájecí a datovou síť.

Datová centra mohou být umístěna v rámci administrativních a výrobních komplexů nebo vybudována jako samostatné technologické objekty.

PROCES TVORBY A NÁVRHU PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE

Základním předpokladem úspěšného zvládnutí návrhu datového centra je zadání klienta. To může být vytvořené z dokumentu obchodního plánu, studie proveditelnosti nebo zadáním výrobce ICT / specializované ICT společnosti. Dále zadání klienta často tvoří jeho vnitřní ICT oddělení. Jedná se většinou o výkonové a prostorové zadání vnitřních částí datových sálů, které stanoví další vývoj projektu.

Projektování technologií datového centra musí maximálně odrážet požadavky obchodního plánu na jeho využití a navrhovaná zařízení by měla být sestavována modulárně v krocích dle uvažovaných výkonových etap. Jen tak je možno zařízení využít na jejich optimální parametry a účinnosti. Při návrhu datového centra je nutno vyhodnocovat přínos moderních technologií z pohledu na morální zastaralosti současně používaných technologií a délky životního cyklu ICT a non-ICT zařízení.

Součástí zpracovávané dokumentace je též testování zařízení při předávání, výstavbě dalších etap a pravidelných provozních zkouškách. Tato část dokumentace by měla být připravována po celou dobu přípravy projektové dokumentace a je podkladem pro vytvoření provozního řádu.

HLAVNÍ OBLASTI ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Efektivita

Vzhledem k tomu, že je systém chlazení největším non-ICT spotřebičem elektrické energie s absolutně největším rozptylem příkonu během roku, je žádoucí brát důraz na jeho provozní optimalizaci. Použitý princip chlazení („výroby chladu“) jako je například přímý výpar DX (direct expansion – kompresorový chladivový okruh); chlazená voda CW (chilled water); volné chlazení FC (free-cooling), má značný vliv na konečný účet za elektřinu. Rozdílné způsoby chlazení můžou být demonstrovány parametrem pPUE (partial Power Usage Efficiency), který slouží pro jejich energetické vyhodnocení a je poměrem spotřeby energie (přijaté práce) systému chlazení a spotřeby ICT zařízení za definované časové období.

Datové centrum jako celek obvykle slouží ke komerčním účelům. Systém chlazení je náročnou technologií po stránce investiční a svým podílem na spotřebě elektrické energie neméně náročnou v provozní stránce. V provozním hodnocení nesmíme zapomínat na náklady na údržbu a opravy zařízení související se spolehlivostí technologie. Ekonomická dostupnost a optimální naladění OPEX (Operational Expenditure – provozní náklady) a CAPEX (Capital Expenditure – investiční náklady) v součtu tzv. TCO (Total Cost of Ownership – celkové náklady na pořízení a provoz) je dnes již standardním kritériem při hodnocení efektivity uvažované nebo provozované technologie.

Zvyšování efektivity se dosahuje zapojením zařízení do nadřazeného systému měření a regulace. Z pohledu dostupnosti však musí tento systém umožňovat jak řízení ve skupině zařízení, tak i oddělené autonomní řízení jednotlivých zařízení. Jednotlivá zařízení jsou vybavena autonomní regulací, která umožňuje jejich efektivní řízení na základě venkovní teploty a požadavků pro chlazení ICT zařízení a ostatních subsystémů DC. Systém regulace zajišťuje hlavně řízení otáček ventilátorů a zapínání kompresorového chlazení. Zařízení jsou propojena do komunikační smyčky, která umožňuje jejich střídání a případně záskok

při poruše jednoho ze zařízení. Komunikační protokol zařízení předává signály a potřebné informace do systému dohledu a monitoringu. Systém monitoringu slouží pro diagnostiku a hodnocení provozních parametrů zařízení, zejména jejich efektivity.

Další možnou alternativou zvýšení využití energie vložené do provozu datového centra je využití odpadního tepla v rámci jeho rekuperace.

Dostupnost

Nepřetržitá dodávka elektrické energie pro ICT zařízení vyžaduje provoz systému chlazení s minimálními přestávkami s ohledem na minimalizaci rychlosti změny teploty na sání ICT zařízení. S tím plně souvisí otázka dostupnosti, servisu jednotlivých komponent systému za provozu DC a tedy i nezbytnost nadbytečných (redundantních) komponent, zařízení, prvků nebo větví rozvodu teplonosné látky.

Struktura systému chlazení s plnou dostupností předpokládá redundanci jeho částí s vyloučením SPOF – "Single Point of Failure" od zdrojů chladu do rozvodu teplonosné látky po sálové klimatizační jednotky:

- oddělené hlavní potrubní trasy chlazené kapaliny
- nezávislé napojení zdrojů chladu do strojovny
- oddělitelné koncové prvky od hlavního rozvodu v případě servisu nebo poruchy bez dopadu na provoz datového centra

Návrh systému a jeho topologie souvisí s možností rozmístění jeho jednotlivých částí v rámci budovy. Výrazné omezující faktory budovy pro tvorbu topologie systému chlazení jsou následující:

- statika budovy
- výška budovy
- vliv na okolní prostředí
- velikost zátěže datového centra
- množství technologických místností (odboček)

Požadavek na míru dostupnosti je významně závislý nejen na architektuře ostatních technologických částí datového centra, ale především na vybudované architektuře ICT. Proto se můžeme setkat s DC, která jsou vybavena základní technologickou výbavou a mají dostupnost nonICT infrastruktury na velmi nízké úrovni. Dostupnost ICT je vyrovnávána několika DC propojenými do společného systému. V případě výpadku jednoho DC zastávají jeho úlohu ostatní DC ve skupině. Takto decentralizovaný systém tvoří často záměrně budovaný „geocluster" propojených DC.

Udržitelnost provozu

Udržitelnost provozu neboli resilience je schopnost systému odolávat změnám. Tyto změny mohou mít rozličné povahy od extrémních povětrnostních podmínek, vývoj a změny konstrukce ICT zařízení nebo jeho rychle se měnící výkonové parametry během krátkého časového úseku.

Odolnost systému lze testovat specifickými nástroji při návrhu datového centra jako je například termodynamické modelování proudění vzduchu při definovaných mezních stavech (výpadky, rychlé změny výkonu atp.). Dalším způsobem zvyšování odolnosti je plánování komplexních a provozních zkoušek, které jsou poté součástí provozní dokumentace.

Resilienci nelze zaměňovat za redundanci běžně užívanou při návrhu technologických celků se zesíleným nárokem na dostupnost. Zvyšující se odolnost systému významně zvyšuje náročnost systému chlazení a tím i pořizovací náklady DC. Jako extrémní příklad lze uvést návrh speciálního odvodu tepla namísto efektního systému DX s oddělenými kondenzátory. Tyto kondenzátory výborně vyhovují kombinaci na maximální dostupnost (oddělená zařízení) s minimálními pořizovacími náklady. V případě přírodní katastrofy jako je například hurikán, je však tento decentralizovaný systém kompletně zpustošen včetně redundantních prvků.

Otázka dostupnosti a odolnosti se také otevírá při řešení nadřazeného řídicího systému infrastruktury DC, který slouží k optimalizaci provozních nákladů, řízení systému při různých provozních stavech nebo dálkovém dohledu jednoho či více propojených DC. V poslední době rezonují témata, jako jsou IoT (Internet of Things) nebo kyberútoky, které je nutno brát vážně v úvahu a systém nadřazeného řízení a dohledu DC důsledně chránit.

Způsoby odvodu tepla

Systém chlazení slouží k odvodu veškeré energie přivedené do datového centra. Elektrická energie transformovaná do tepelné je odvedena do okolního vzduchu nebo případně část této tepelné energie využita k rekuperaci. Hlavní část tepla se vytváří na datových sálech, serverovnách a pomocných technologických místnostech. Zde je teplo z ICT zařízení umístěných v rackových rozvaděčích převedeno vzduchem do výměníků klimatizačních zařízení a dále odvedeno potrubím do výměníků venkovních zařízení. Na těchto zařízeních dochází k odvodu tepla do okolního prostředí - nejčastěji venkovního vzduchu. V případě rekuperace tepla může být energie využita například pro vytápění přilehlého administrativního nebo sportovního centra.

Tři základní kameny systému chlazení – distribuce vzduchu, rozvod teplonosné látky, odvod tepla do okolního vzduchu – mohou být řešeny různých způsobem, avšak vždy musí ideálně spolupracovat.

Klimatizační jednotky fungují zpravidla na dvou základních principech odvodu tepla z ohřátého vzduchu. Jedná se o kompresorový chladivový okruh nebo výměník na chlazenou vodu. V obou případech se pak přes potrubní síť odvádí teplo do venkovních zařízení. V převážné většině případů odvádíme teplo z ICT zařízení vzduchem, proto používané vnitřní jednotky jsou částí vzduchotechnická zařízení nebo sestavné VZT jednotky. S ohledem na snižování spotřeby elektrické energie jsou v rámci systému chlazení integrovány různé způsoby volného / bezkompresorového chlazení. V poslední době se jako nejefektivnější u středních a velkých DC ukazuje použití vzduchového volného chlazení.

Volba způsobu chlazení je závislá na mnoha faktorech, jako jsou např. velikost DC, příkon ICT, požadovaná dostupnost, efektivita provozu, etapizace atp.

Při návrhu chladicího zařízení je třeba brát v úvahu nejen uváděná teplotní maxima venkovních teplot dle meteorologických údajů (nejméně za posledních 20 let), ale též vliv mikroklimatu. V případě umístění DC do centra měst musíme počítat s až o 4 °C vyššími teplotami než v jejich okrajových částech. Nevhodné umístění výdechů VZT nebo náhradních zdrojů elektrické energie způsobující recirkulaci a zpětné nasátí ohřátého vzduchu může v extrémní situaci přivodit kolaps celého systému DC bez ohledu na navržený způsob záložních jednotek.

Celý systém chlazení jako komplex mnoha zařízení vyžaduje inteligentní řízení s prediktivní regulací pro zajištění nepřetržitého, bezpečného, dostupného a efektivního provozu v průběhu celého roku, a to bez ohledu na vlivy venkovního prostředí. Nadřazený systém MaR (měření a

regulace) zajišťuje propojení jednotlivých komponentů systému včetně napojení na ostatní části non-ICT technologie DC zvláště pak napájení a monitoringu. Posledně zmiňovaná technologie předává provozovateli údaje o provozních stavech s dostatkem historických dat pro hodnocení tendencí a provádění následných zásahů a optimalizací provozu.

MODERNÍ POJETÍ ODVODU TEPLA

Volné chlazení

Volné chlazení v anglosaské technické terminologie nazývané free-cooling nebo economizer má zásadní dopad na provozní náklady DC. Hlavní myšlenkou je využití chladnějšího vzduchu v průběhu nebo po celý rok pro přímé nebo nepřímé chlazení vzduchu v datovém sále. Využitelnost volného chlazení závisí hlavně na klimatických podmínkách v okolí DC, dále pak na stanovených vnitřních podmínkách (především dle dokumentu ASHRAE TC 9.9 2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance) a použitém systému chlazení.

Využití odpadního tepla

Možnou alternativou zvýšení využití energie vložené do provozu datového centra je využití odpadního tepla v rámci jeho rekuperace. Jedná se vlastně o dvojí využití energie. Vzhledem k tomu, že veškerá energie přivedená do datového centra je transformována do tepelné, nabízí se využití tohoto odpadního tepla. Existuje několik způsobů rekuperace, které je vhodné řešit již v návrhu první etapy výstavby technologie chlazení. Teplo můžeme „čerpat“ ze všech látek, které nám obíhají jako látky nesoucí tepelnou energii – voda, nemrznoucí směsi, chladivo, vzduch. Jako vhodný prostředek pro navýšení potenciálu tepelné energie se jeví tepelné čerpadlo.

Musíme však brát na zřetel, že použití rekuperace tepla jde často proti využití tzv. ekonomizérů – volného chlazení. Paradoxně může totiž využití odpadního tepla z technologie omezit nebo významně ovlivnit aplikaci volného (bezkompresorového) chlazení.

Kapalinou chlazené ICT

Poslední trendy ve vývoji ICT zohledňují zvyšující se požadavky na jejich výkon a účinnost. Zvyšující se nároky na odvedený výkon na jednotku plochy chipu předurčují rychlý vývoj kapalinou chlazeného ICT. Kapalinové chlazení využívá vlídnějších termodynamických vlastností kapalin oproti vzduchu. Používané technické dielektrické kapaliny mají až 1000 x větší objemový přenos tepla než vzduch. Tím se nabízí výrazné zvýšení teplot chladicí média a možnost snížení teplot ICT komponent (zvýšení spolehlivosti). Jedná se o princip, kdy kapalina namísto vzduchu přichází přímo do styku s částí nebo celým ICT zařízením. Navíc se kapalina může v průběhu chlazení vypařovat v chladiči komponentu, což má za následek vysoké zintenzivnění přenosu tepla.

Kapalina je hlavním nositelem tepla od vnitřních komponent ICT přes vnitřní výměníky tepla až do venkovního prostředí případně ke spotřebičům tepla. Využití odpadního tepla (až 80 % energie je zpětně snadno využitelné) pro centrální rozvod tepla, navazující administrativní nebo technologické objekty nebo sportoviště.

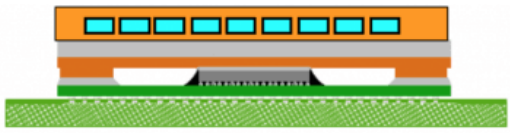
Existují tři základní principy kapalinového chlazení, které se mohou dále větvit do odvozených kombinací. Prvním z nich jsou zařízení ponořená do lázně s chladicí kapalinou, která jí protéká a odvádí teplo potrubím dále. Celkové teplo z ICT je tedy odváděno do kapaliny. Hybridní neboli Hybrid cooled / Directed flow – zajišťuje odvod tepla z nejvíce zatížených komponent, jako jsou např. procesory nebo paměti. Třetím uváděným

případem jsou zapouzdřená zařízení, kdy je odvod tepla z celého zařízení realizován kapalinou. Část výkonu je však vyzářena do okolí a odvedena vzduchem.

Jeden z hlavních cílů kapalinového chlazení ICT je ušetřit provozní náklady za provoz DC resp. elektrickou energii. Hodnoty pPUE se pohybují na polovičních hodnotách srovnatelných s nejnovějšími vzduchem chlazenými ekonomizéry. Tímto způsobem odvodu tepla od ICT lze snížit spotřebu elektrické energie pro provoz podpůrné technologie na méně než 10 % ze spotřeby ICT zařízení. Další snížení (efekt) lze očekávat i v pořizovacích nákladech zvláště na zjednodušený systém chlazení.

Mnohá testování kapalinou chlazených ICT zařízení ukázala na efektivní snížení teplot na chipu o 25 °C a snížení jejich spotřeby až o 7 % v porovnání s tradiční vzduchem chlazenou technologií [3].

Obr. 1 *Vzduchem chlazený chip*



Obr. 2 *Kapalinou chlazený chip*

Současné aplikace jsou hlavně v rámci aplikace velkých výpočetních výkonů (HPC), vývojových pracovišť a počítačové simulace. Aplikace v budoucnu vidíme v širší oblasti zvláště pro poskytovatele služeb s vlastním HW.

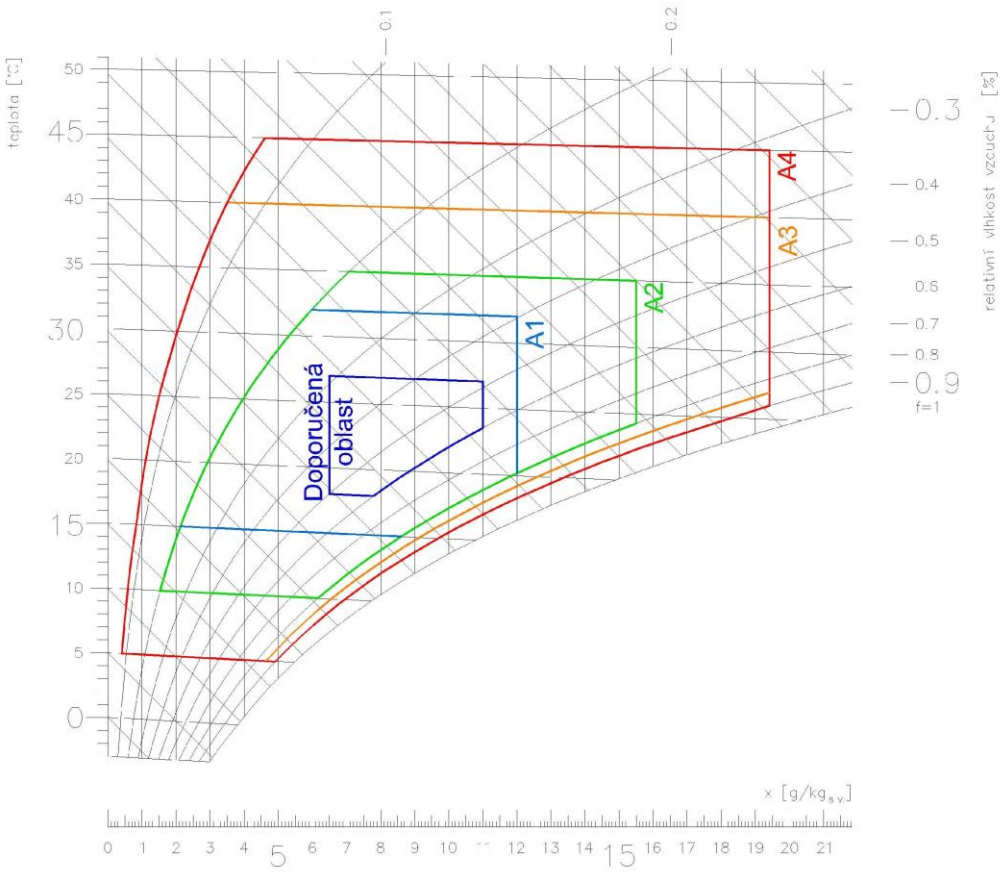
Vnitřní prostředí pro provoz ICT

Vnitřní prostředí je primárně definováno požadavky na chlazení ICT zařízení. Ve fázi projektové přípravy však obvykle není přesně definováno použité ICT zařízení. Proto asociace ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) a její část TC 9.9 připravila ve spolupráci s výrobci ICT doporučená pásma teploty a vlhkosti na sání ICT zařízení. Tato pásma byla nedávno hlavně díky přístupu výrobců hardware upravena a významně rozšířena. Předpisy ASHRAE TC 9.9 definují též požadavky na čistotu prostředí – filtrace cirkulačního a venkovního vzduchu, kontaminace vzduchu plynnými a jinými částicemi způsobující mechanické, elektrické a chemické poškození (koroze) zvláště na elektronických obvodech.

Pokud není stanoveno jinak, vnitřní prostředí pro ICT se řídí doporučením dokumentu ASHRAE 2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance pro třídu (class) A1 [2]. Stanovená kvalita prostředí je pro místa sání ICT zařízení s dodržením technologické kázně při instalaci technologie do datových stojanů. Parametry jsou v poslední době aktualizovány pro různá druhy ICT zařízení včetně kapalinou chlazeného ICT.

Tab. 1 *Doporučení ASHRAE*

	Doporučený rozsah	**Povolený rozsah**
	ASHRAE TC 9.9 (2011)	ASHRAE TC 9.9 (2011)
Spodní hranice teploty (°C)	18	15
Horní hranice teploty (°C)	27	32
Spodní limit vlhkosti	5,5 °C rosný bod	20 % r.v.
Horní limit vlhkosti	60 % r.v. a 15 °C rosný bod	80 % r.v.



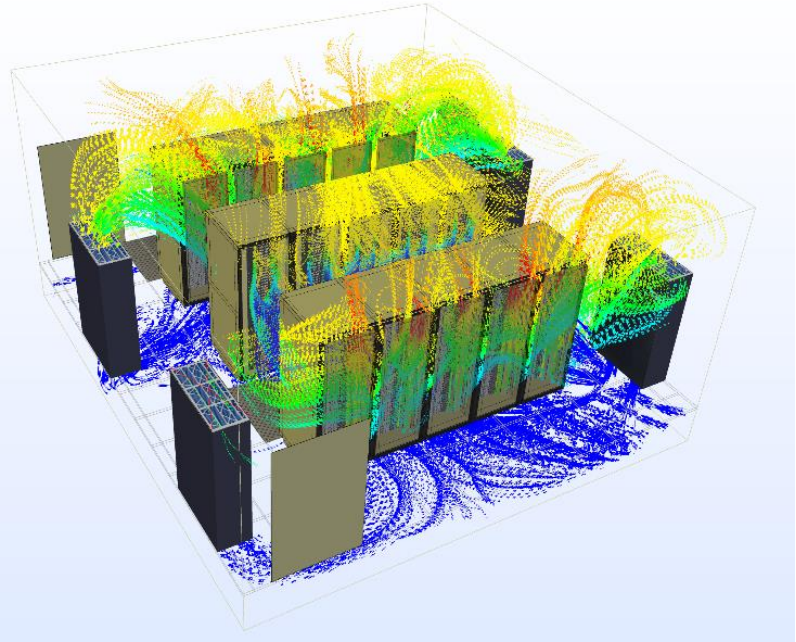
Obr. 3 *Grafické vyjádření doporučeného a povoleného rozsahu provozních stavů vzduchu na sání ICT zařízení pro nové třídy prostředí A1-A4 dle ASHRAE*

Synergie IT a nonIT

Pro fungování ICT zařízení je důležitá vyrovnaná bilance průtoků vzduchu VZT (chladicího) zařízení a vlastního ICT zařízení. K tomu napomáhá vlastní návrh umístění ICT zařízení v rackových stojanech a jejich rozložení na datovém sále. V současné době se stále více prosazuje moderní řízení přívodu vzduchu na sání ICT propojením systému napájení a chlazení s řízením pomocí signálu přímo z ICT. Návrh provozované technologie na datovém sále a obslužné technologie DC už není možný bez úzké spolupráce výrobců ICT.

CFD (Computational Fluid Dynamics) je metodou pro simulaci, vizualizaci a zaznamenání pohybu tekutiny - vzduchu a jeho termodynamických vlastností v definovaném prostoru. CFD analýza umožňuje nejenom vizualizaci situace na datovém sále během jeho návrhu, ale i zviditelnění proudění vzduchu na existujícím sále. CFD analýzy jsou založeny na náročných algoritmech a výpočtech. Jako vstupní údaj slouží 3D model oblasti, která má být analyzována. V případě nových návrhů se využívá rozsáhlé databáze prvků, jejichž komplex s návrhem sálu vytváří model tzv. virtuálního prostoru. Pružnost a přirozené prostředí CFD modelu umožňují provádět rychle změny nebo kontrolovat a testovat několik řešení v krátkém časovém úseku.

CFD modelování slouží také pro snadné ověření budoucího stavu datového sálu, optimalizaci proudění a parametrů vzduchu při jakýchkoli definovatelných změnách nebo provozních stavech.



Obr. 4 *Výstup ze software 6Sigma pro modelování proudění na datovém sále* [4]

ZÁVĚR

Disciplína návrhu a projektování technologie chlazení datových center vyžaduje specializaci v oboru a mnohaleté zkušenosti pro dosažení maximální spokojenosti budoucího uživatele. Na správném návrhu závisí budoucí provoz, možnosti rozvoje a ekonomické ukazatele celého datového centra.

Zvyšující se teploty potřebné pro provoz ICT ukazují na stále rozšířenější vzduchotechnické aplikace bez využití kompresorové technologie.

Přestože dnešní poměr vzduchového vůči kapalinovému chlazení je významně pro vzduchové chlazení, očekáváme rozšíření technologií kapalinového chlazení ICT zvláště proto, že světoví výrobci ICT se této disciplíně maximálně věnují a posunují ji neustále kupředu. Hlavními přednostmi této technologie bude významné snížení energetické potřeby a snadná využitelnost odpadního tepla.

Velkou otázkou návrhu DC je bilancování dostupnosti technologie DC a vlastní architektury ICT včetně použití decentralizovaných systémů. Systém nadřazeného řízení a dohledu DC je nutno navrhnout a důsledně chránit s ohledem na současný vývoj IoT (Internet of Things).

ZDROJE

[1] Total Internet traffic, Cisco VNI, 2017
https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.html#_Toc484556826

[2] 2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance, 2011-Gaseous-and-Particulate-Contamination-Guidelines-For-Data-Centers
[3] The Defense Advanced Research Projects Agency's (DARPA) Intrachip/Interchip Enhanced Cooling (ICECool) program; https://www.nextbigfuture.com/2017/09/darpa-ibm-git-icecool-dielectric-cooling-uses-7-of-the-power-of-traditional-air-cooling.html
[4] 6 Sigma DC Future Facilities

PROJEKT VZT A ZOK V KOMPLEXU BUDOV VOJENSKÉHO HISTORICKÉHO ÚSTAVU PRAHA

Ing. Ondřej Hlaváček[1], **Ing. Stanislav Toman**[2]

[1]TechOrg s.r.o., Praha

[2]Projektová kancelář ÚT+VZT, Praha

ondrej@techorg.cz, sttoman@centrum.cz

ANOTACE

Příspěvek popisuje projektové řešení vzduchotechniky (VZT) a zařízení pro odvod kouře a tepla (ZOKT), které bylo připraveno pro rozsáhlou rekonstrukci objektů Vojenského historického ústavu Praha. Jde o komplex čtyř historických budov (realizace 1927 až 1929 podle návrhu architekta Jana Zázvorky), nacházejících se na úpatí vrchu Vítkov v Praze, v němž dnes sídlí Armádní muzeum Žižkov (obr. 1).

ÚVOD

Předmětem připravované rekonstrukce památkově chráněných budov jsou rozsáhlé úpravy, jejichž cílem je modernizace muzejních prostor, výstavních expozic a souvisejícího zázemí tak, aby odpovídaly trendům 21. století a současně byly důstojným místem vojenské historie našeho státu.

Práce na projektové dokumentaci byly provázeny nemalými komplikacemi, jež přinášejí řešení v památkově chráněných objektech. Prioritou celé zakázky bylo uspořádání a koncepce expozic všech výstavních sálů, čemuž se musely přizpůsobit všechny stavební profese. Rekonstrukce se dotýká všech čtyř objektů A, B, C a D popisovaného komplexu.

Obr. 1 *Letecký snímek komplexu budov Vojenského historického ústavu Praha.*

VZDUCHOTECHNIKA

Nuceně jsou větrány všechny expoziční prostory a dále pak některé další (kavárna, atrium, zasedací místnosti apod.). Tento se text se bude zabývat především přesnou klimatizací, která zajišťuje požadovanou teplotu a vlhkost ve většině výstavních prostor (konkrétně se jedná o více jak 2.500 m^2 výstavní plochy). V části expozic (cca 770 m^2) je navržen klasický systém vzduchotechniky, vytápění a chlazení (nucené větrání VZT jednotkou + VRV systém), který zajišťuje požadovanou teplotu, nikoli však už vlhkost.

Základní okrajové podmínky pro návrh

Parametry vnitřního prostředí

Vzhledem k povaze vystavovaných předmětů byly parametry vnitřního prostředí pro návrh stanoveny takto:

ZIMA	vnitřní teplota vzduchu	t_i = 20 °C
	relativní vlhkost vzduchu	min. 40 %
LÉTO	vnitřní teplota vzduchu	t_i = 26 °C
	relativní vlhkost vzduchu	max. 6 0%

Rozmezí teplot i vlhkostí je poměrně velké, protože zde nebudou vystaveny předměty, vyžadující stálé klima po celý rok (obrazy, vzácné tisky…). To příznivě ovlivňuje návrh celého zařízení – o vzduchovém výkonu rozhoduje chlazení, pokud by tedy byla požadována teplota např. 23°C po celý rok, byl by celý systém podstatně větší.

Parametry vnějšího prostředí

ZIMA	venkovní teplota vzduchu	t_e= -15 °C
	relativní vlhkost vzduchu	rh = 90 %
	entalpie vzduchu	h = -12,9 kJ/kg
LÉTO	venkovní teplota vzduchu	t_e= 33 °C
	relativní vlhkost vzduchu	rh = 40%
	entalpie vzduchu	h = 66,1 kJ/kg

Okrajové podmínky byly voleny tak, aby celý návrh byl na straně bezpečnosti a zajišťoval požadované klima po celý rok – zejména letní entalpie 66,1 kJ/kg je vysoká, např. ČSN 12 7010 (Změna Z1, leden 2016) uvádí entalpii pro 99 % percentil (procento výskytu) hodnotu jen 64,3 kJ/kg a pro 99,6% percentil 67,5kJ/kg (údaje pro lokalitu Praha – Klementinum).

Návrhové hodnoty tepelných zisků

Obsazenost	12 m^2/os
Tepelný zisk na osobu	65 W (= 5,4W/m^2)
Tepelný zisk – osvětlení	10 W/m^2
Tepelný zisk – AV technika	23-28 W/m^2 dle expozice
Vnější zisky	průměrně 5 W/m^2
Celkem	43-48 W/m^2

Hodnota vnějších zisků vychází ze součinitele prostupu tepla obvodové stěny 1,0 W/m^2.K (jedná se o stávající stěnu, která nebude zateplena). Základním požadavkem projektanta VZT bylo zajistit zastínění stávajících oken tak, aby expozice nebyly ovlivněny zisky od sluneční radiace. Na druhou stranu základním požadavkem profese ZOKT bylo zajistit přívod vzduchu do kouřových sekcí expozic okny. Stavebně bylo toto řešeno instalací průběžné paneláže podél obvodových stěn ve vzdálenosti cca 0,5m od stěny, která je dole perforovaná a zajišťuje tak přívod vzduchu v případě požáru a v některých případech i přívod větracího vzduchu.

Jak je patrné, cca polovinu tepelné zátěže tvoří AV technika. Velikost tepelných zisků je dána koncepcí muzea jako moderního výstavního prostoru s řadou audio a video prvků.

Další faktory ovlivňující návrh

Kromě klasických vstupních (číselných) parametrů bylo nutno vzít v potaz několik dalších faktorů, které souvisí s tím, že se jedná o památkově chráněný objekt – muzeum:

- Veškeré umístění i materiálové řešení technologií v exteriéru (a zejména na střeše) musí respektovat požadavky památkové ochrany
- Investor striktně odmítl jakékoli vedení vody v expozicích (netýká se jen klimatizace, ale např. i kanalizace) z důvodu možného poškození exponátů
- Umístění zdrojů chladu v exteriéru je velmi problematické z hlediska hluku a vzhledu
- Zajistit transportní cesty pro montáž velkých zařízení, jako jsou VZT jednotky, je velmi obtížné

Navržené řešení

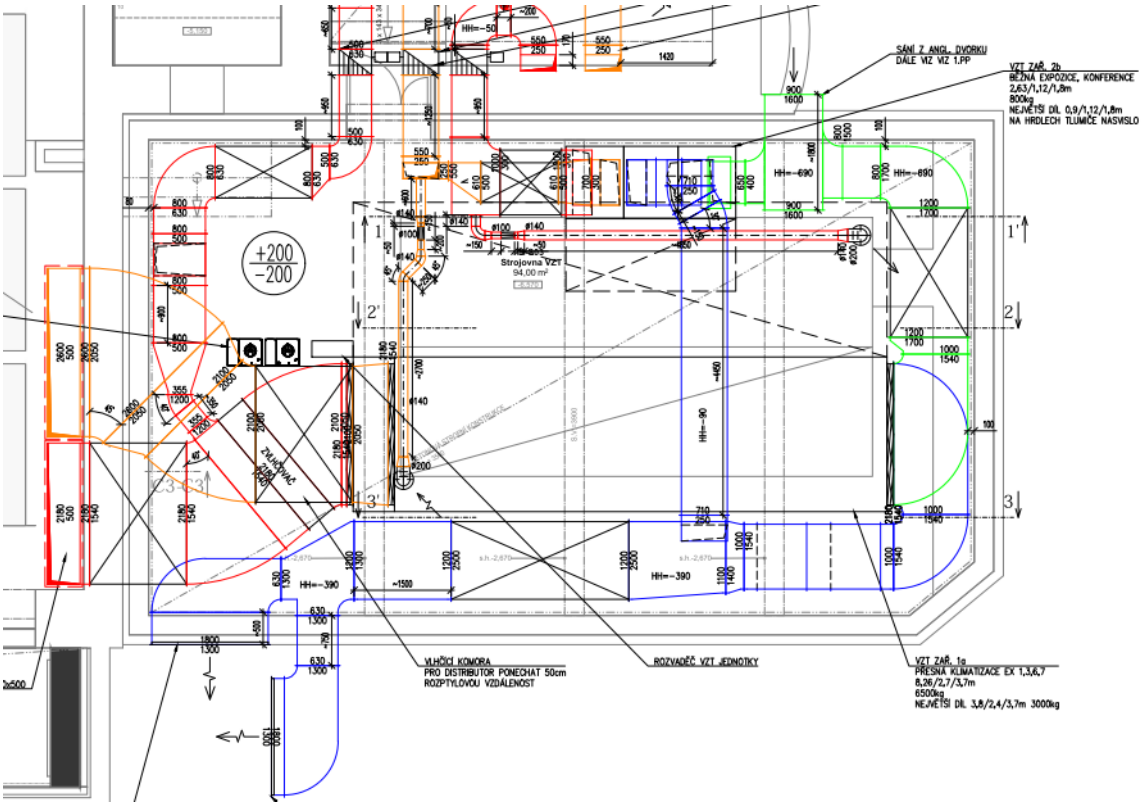
VZT jednotky

Pro zajištění teploty a vlhkosti v expozicích byly navrženy dvě jednotky přesné klimatizace – označení v projektu č. 1a a 1b. Kvůli nemožnosti použít vodní chlazení a instalovat venkovní zdroje hluku jsou vybaveny integrovaným chlazením. Z hlediska připojení na média tak vyžadují pouze topnou vodu (vede v instalačním kanálu pod objektem a dále pak mimo expoziční prostory) a elektrickou energii. Složení jednotek je následující:

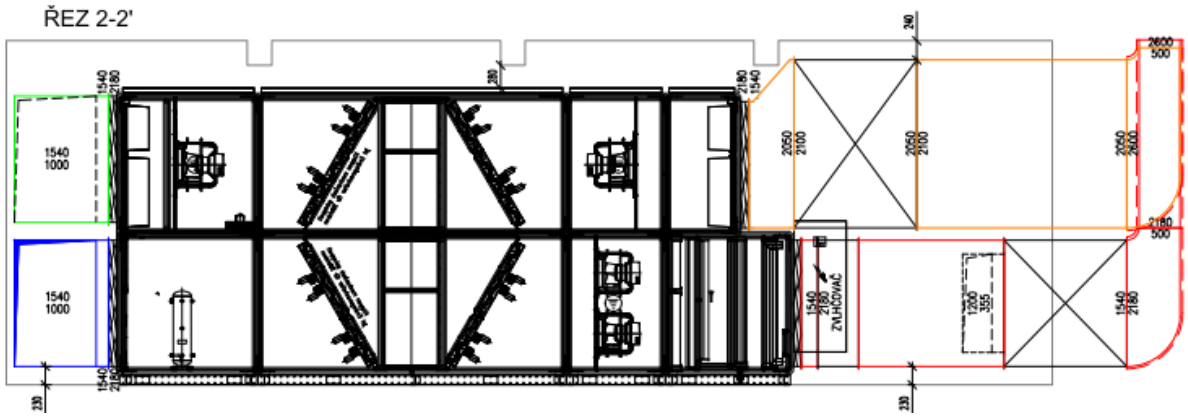
Přívodní část obou jednotek je složena z filtrů (M5+F7), deskového regenerátoru ZZT s velmi vysokou účinností přenosu tepla (min. 90 % dle DIN EN308:1997) a vlhkosti (min. 72%), směšovací komory, přímého výparníku integrovaného chlazení pro chlazení a odvlhčování vzduchu, vodního výměníku pro ohřev vzduchu, parního zvlhčovače a ventilátoru s EC motorem. Odvodní část je složena z filtru (M5), deskového regenerátoru ZZT, směšovací komory, kondenzátoru přímého chlazení a ventilátoru s EC motorem. Jednotky rovněž obsahují třetí ventilátor pro letní provoz, který zajišťuje chlazení kondenzátoru v období, kdy jej není možné zajistit odváděným vzduchem. Parní distributor je z prostorových důvodů navržen tak, aby měl velmi krátkou rozptylovou vzdálenost – max. 50 cm. Srdcem jednotek je potom jejich regulace. Navrženy jsou vysoce kvalitní jednotky od renomovaného výrobce, jejichž regulace pracuje s tzv. hx modulem, který na základě teplot a vlhkostí v jednotlivých proudech vzduchu dopočítává entalpii a vyhodnocuje optimální chod jednotky z hlediska spotřeby energie.

Návrhová teplota přiváděného vzduchu je 16 °C pro léto a 34 °C pro zimu. Vzduchový výkon jednotek je **25.300 / 25.300 / 32.200 a 10.600 / 10.600 / 15.800 m^3/h** (přívod / odvod / 3. ventilátor). Větší jednotka 1a je umístěna v samostatné, nově zbudované strojovně v suterénu objektu (obr. 2, obr. 3). Při návrhu hrál roli mj. fakt, že strojovna se nachází na samé hranici pozemku a má proto nepravidelný tvar (zkosení v JV rohu). Jednotka má

rozměry **8,3/2,4/3,7m a váží 6,5 tuny**. Montáž jednotky je navržena po částech stropem strojovny, strop bude proveden po montáži jednotky.

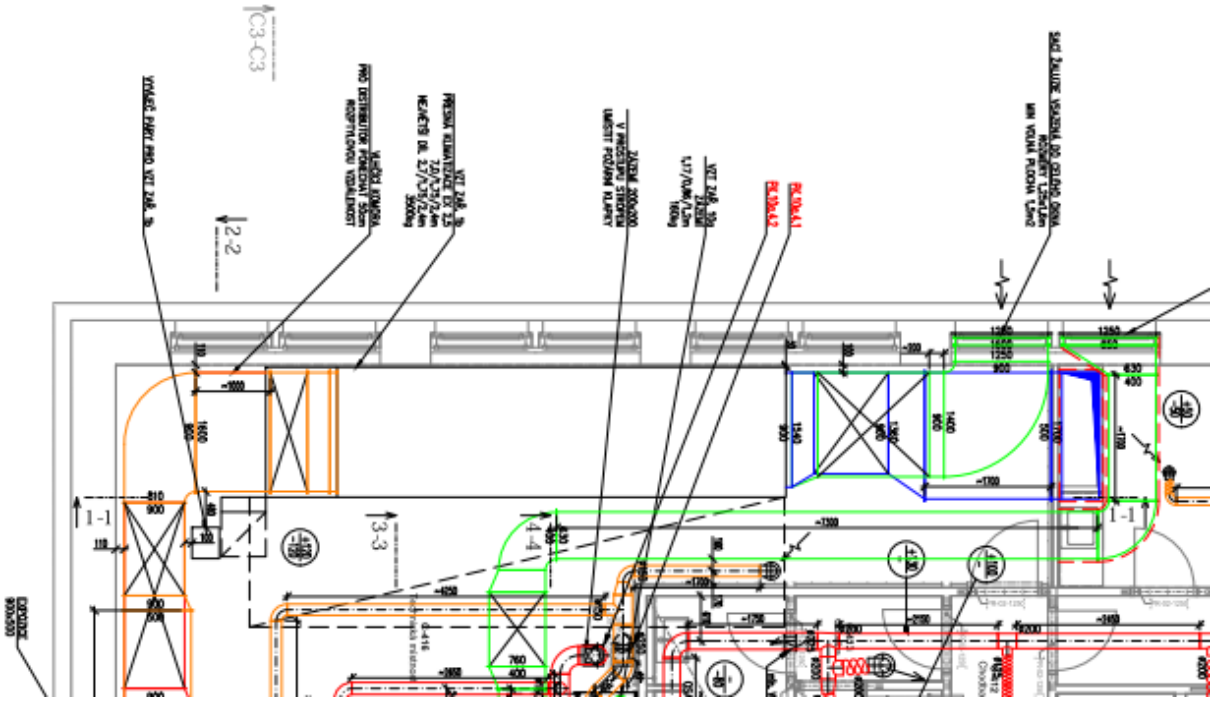


Obr. 2 *Umístění jednotky přesné klimatizace č. 1a ve strojovně VZT.*



Obr. 3 ***P****ohled na jednotku 1a se 3. ventilátorem pro chlazení kondenzátoru integrovaného chlazení v letním období*

Menší jednotka 1b je umístěna ve strojovně VZT ve 4. nadzemím podlaží (obr. 4). Její rozměry jsou 7,0/1,75/2,4m, váha 3,5 tuny. Montáž bude nutná opět po částech, v tomto případě bude velmi obtížná, protože se jedná o stávající prostor, kam se bude muset jednotka nastěhovat oknem – z toho důvodu je navrženo dělení na menší transportní díly, než je obvyklé.



Obr. 4 *Umístění jednotky přesné klimatizace č. 1b ve strojovně VZT.*

Větrání, vytápění a chlazení jednotlivých expozic

Rozvody od jednotek budou vedeny do jednotlivých expozic, kde budou zakončeny distribučními elementy (anemostaty s parafínovou kapslí, která mění směr vyfukovaného vzduchu podle teploty přiváděného vzduchu – v zimě směrují teplý vzduch dolů a v létě studený vzduch foukají do boků). Distribuční elementy jsou rozmístěny rovnoměrně po celém prostoru. Odvod vzduchu je zajištěn centrálním odvodním potrubím pod stropem uprostřed místnosti. Každá expozice bude regulována samostatně pomocí VAV regulátorů na přívodu i odvodu. VAV regulátory budou ovládány na základě čidel CO_2, teplotních čidel a čidel vlhkosti.

ZAŘÍZENÍ PRO ODVOD KOUŘE A TEPLA

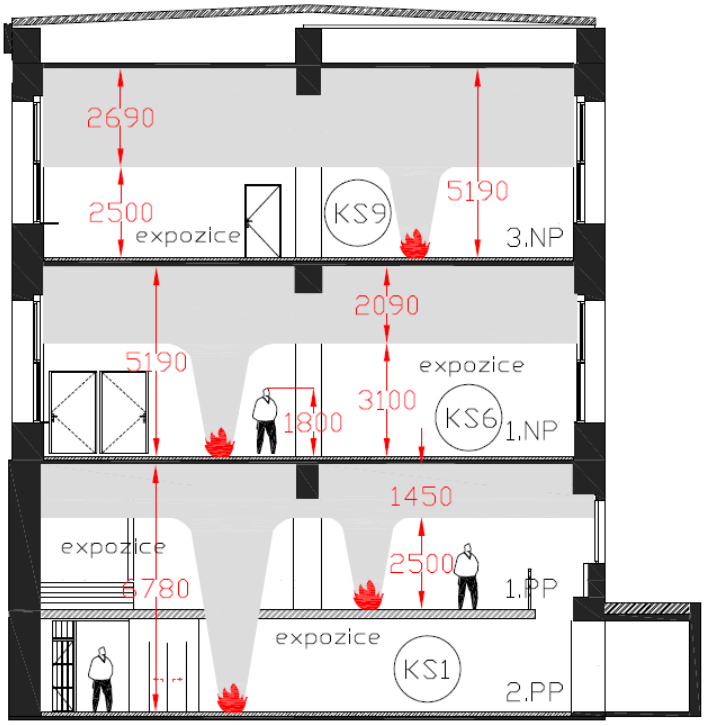
Výchozím podkladem pro návrh zařízení ZOKT byl projekt požárně bezpečnostního řešení stavby. Zde byly stanoveny požadavky, ve kterých prostorách musí být navrženo zařízení ZOKT. Jde o následující prostory: **expozice** (jednotlivé expozice jsou umístěné od 2. PP do 3. NP ve třech objektech B, C a D), **vstupní hala** (1. PP, objekt D), **prostor hlavního schodiště v objektu C** (1.NP až 3.NP, objekt C) a nově navrhované **atrium** (1. NP až 3. NP, objekt D). Uvedené prostory jsou součástí **jednoho vícepodlažního požárního úseku**, pro který byl určen II. stupeň požární bezpečnosti.

Jde o prostory, kde z hlediska požární ochrany musí zařízení ZOKT **prioritně zabezpečit ochranu osob** při složitých evakuačních podmínkách. Je evidentní, že dalším cílem je rovněž ochrana majetku, respektive vzácných a mnohdy ojedinělých exponátů nenahraditelného významu.

Stavební a dispoziční řešení jednotlivých expozičních místností, sálů, chodeb, schodišť a dalších prostor tohoto požárního úseku bylo účelně rozděleno do ucelených **kouřových sekcí**, které budou požárně odvětrány zařízením ZOKT.

Požární scénáře a návrhové požáry

Při výpočtu byly zvoleny požární scénáře a návrhové požáry tak, aby co nejvíce odpovídaly pravděpodobnému rozvoji a průběhu požáru v jeho počátečním stádiu. Vycházelo se z rozdělení objektu do požárních úseků a kouřových sekcí, požárního rizika a evakuačních podmínek. V objektu je navrženo celkem 11 kouřových sekcí (označení KS1 až KS11). Pro ochranu osob musí být dodržena normou požadovaná čisté (nezakouřené) výšky vzduchu alespoň 2,5 m nad podlahou v průběhu evakuace. Jedinou výjimku bylo nutno stanovit v kouřové sekci KS6 (speciální expozice C-111 v 1.NP), kde byla zvolena hodnota nezakouřené výšky nad podlahou 3,1 m s ohledem na výšku zde vystaveného největšího exponátu - legionářského vagónu, jímž budou procházet návštěvníci (obr. 5). Výpočty prokázaly, že je splněn požadavek na bezpečnou evakuaci osob s dostatečnou rezervou.



Obr. 5 *Ukázka návrhových požárů v expozicích objektu C.*

Při výpočtech bylo zohledněno, že v objektu **nebude instalováno sprinklerové stabilní hasicí zařízení**. Výpočty byly provedeny pro všech 11 kouřových sekcí, přičemž pro návrh zařízení ZOKT byly použity výsledky **nejnepříznivějších návrhových požárů v nejvíce exponovaných kouřových sekcích**.

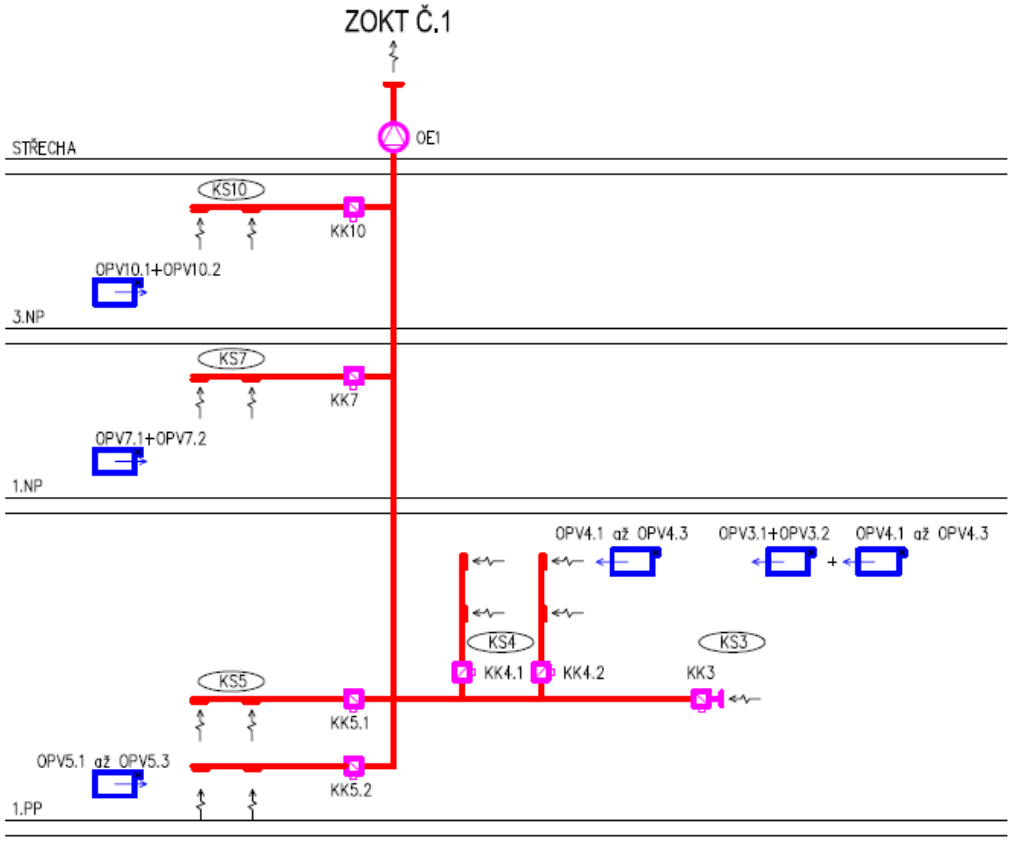
Koncepce systému odvodu kouře a tepla

Systém odvodu kouře a tepla bude sestávat z tří zařízení ZOKT: ZOKT č. 1 - Expozice, ZOKT č. 2 - Expozice, ZOKT č. 3 - Atrium.

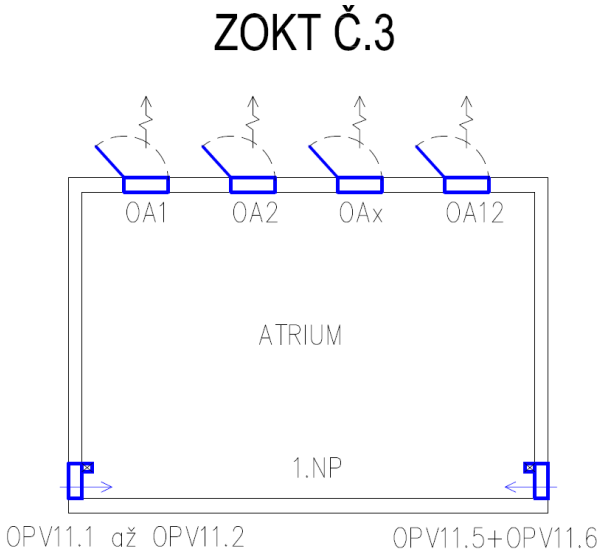
Zařízení ZOKT č. 1 a č. 2 (všechny expozice, vstupní hala, hlavní schodiště) jsou navržena jako **podtlaková s nuceným odvodem kouře a přirozeným přívodem vzduchu**. Odvod kouře a tepla je zajištěn potrubním rozvodem a požárními ventilátory osazenými v půdním a střešním prostoru s výdechem do venkovního prostředí. V kouřových sekcích je odtahové potrubí umístěno pod stropem a přes potrubní kouřové klapky zaústěno do společné odtahové trasy vedoucí do svislých šachet a k odtahovým požárním ventilátorům. Přívod vzduchu z venkovního prostředí je zajištěn otevíranými okny, případně dveřmi.

Zařízení č. 3 (atrium) bude navrženo s **přirozeným odvodem kouře a tepla a s přirozeným přívodem vzduchu**. Odvod zajišťují střešní klapky pro odvod kouře a tepla. Přívod venkovního vzduchu je vstupními dveřmi do atria. Zařízení bude v tzv. duálním provedení, umožňující jak funkci v případě požáru, tak běžné větrání atria. Prioritu má funkce požárního větrání.

Všechna zařízení ZOKT budou aktivována systémem elektrické požární signalizace (EPS). Graficky je koncepce zařízení dobře patrná z výkresů funkčních schémat (obr. 6, obr. 7).



Obr. 6 *Funkční schéma zařízení ZOKT č. 1 – Expozice.*



Obr. 7 *Funkční schéma zařízení ZOKT č. 3 – Atrium.*

Výkonové parametry zařízení ZOKT

Každé zařízení ZOKT je dimenzováno na základě výpočtů návrhových požárů v **nejnepříznivějších kouřových sekcí**, které jsou k danému zařízení připojena. Jednotlivá zařízení ZOKT byla dimenzována podle těchto **hlavních** návrhových parametrů:

ZOKT č. 1 - Expozice:
- objemový průtok odváděného kouře: V_o=**36 000 m^3/h**
- objemový průtok přiváděného venkovního vzduchu: V_p=**22 000 m^3/h**
- návrhová teplota odváděného kouře: $t_{g,návrh}$=**300 °C**

ZOKT č. 2 - Expozice:
- objemový průtok odváděného kouře: V_o=**48 000 m^3/h**
- objemový průtok přiváděného venkovního vzduchu: V_p=**40 000 m^3/h**
- návrhová teplota odváděného kouře: $t_{g,návrh}$=**300 °C**

ZOKT č. 3 - Atrium:
- objemový průtok odváděného kouře: V_o=**72 800 m^3/h**
- objemový průtok přiváděného venkovního vzduchu: V_p=**61 500 m^3/h**
- návrhová teplota odváděného kouře: $t_{g,návrh}$=**200 °C**

Odvod kouře a tepla

Z expozičních prostor (ZOKT č. 1 a č. 2) je kouř a teplo odváděno dvěma centrálními **požárními ventilátory** ve střešním provedení, zakomponovanými do střešní konstrukce tak, aby bylo vyhověno požadavkům památkářů a současně zajištěna požární bezpečnost. Ventilátory musí mít požární klasifikační třídu alespoň **F_{300}/120** (funkčnost při teplotě 300 °C minimálně po dobu 120 minut).

Z atria (ZOKT č. 3) jsou zplodiny hoření odváděny **střešními klapkami pro přirozený odvod kouře a tepla**, které jsou zabudovány do nově navrhovaného proskleného zastřešení atria (obr. 8). Tyto střešní klapky musí mít požární klasifikační třídu alespoň **B_{300}/30** (funkčnost při teplotě 300 °C minimálně po dobu 30 minut) a dále musí mít klasifikaci spolehlivosti pro otevírání a zavírání **Re 1000**, klasifikaci při zatížení sněhem **SL 250**, při zatížení sání větrem **WL 1500** a při nízké teplotě okolí **T (-15)**.

Obr. 8 *Vizualizace komplexu VHÚ Praha s novým zastřešením vnitřního nádvoří (atrium).*

Přívod vzduchu pro zařízení ZOKT

Nedílnou funkční součástí zařízení ZOKT je zajištění přívodu **venkovního** vzduchu. Musí ho být nejméně tolik, aby v návrhové době, na kterou je zařízení navrhováno a dimenzováno, byla zachována **hmotnostní** bilance mezi odvodem kouře a přívodem vzduchu a současně, aby v odvětrávaných prostorech byl zajištěn dostatečný **podtlak** a zplodiny hoření se nešířily do ostatních částí stavby.

Kvalitativní požadavky na komponenty zařízení ZOKT

V projektové dokumentaci jsou přesně specifikovány všechny požadavky na jednotlivé komponenty všech zařízení ZOKT. Musí být použity pouze certifikované výrobky, které musí splňovat požadavky harmonizovaných norem řady ČSN EN 12101 (část 1 až 10) a klasifikační normy ČSN EN 13501-4+A1.

Aktivace zařízení ZOKT

V celém objektu bude systém elektrické požární signalizace (EPS), který zajistí aktivaci zařízení ZOKT a prostřednictvím EL jejich uvedení do chodu. Současně se odstaví chod veškeré provozní vzduchotechniky a uzavřou se příslušné požární klapky VZT zařízení. To se netýká požárního větrání chráněných únikových cest. Detekce kouře bude zajišťována kouřovými hlásiči (v případě atria lineárními hlásiči) umístěnými v kouřových sekcích. Požaduje se adresná detekce a identifikace zasažené kouřové sekce v celé její ploše včetně grafické nadstavby systému a monitoring provozního stavu zařízení ZOKT.

ZÁVĚR

Na webové stránce Vojenského historického ústavu Praha byla uveřejněna informace, že od 10. července 2017 je Armádní muzeum Žižkov dlouhodobě uzavřeno. Důvodem je komplexní rekonstrukce jeho budovy. Realizační fáze tedy započala a můžeme se těšit a doufat, že na příští konferenci seznámíme odbornou veřejnost s výsledkem této akce.

HODNOCENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V BUDOVÁCH S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE

Karel Kabele, Zuzana Veverková, Miroslav Urban

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov a Univerzitní centrum energeticky efektivních budov

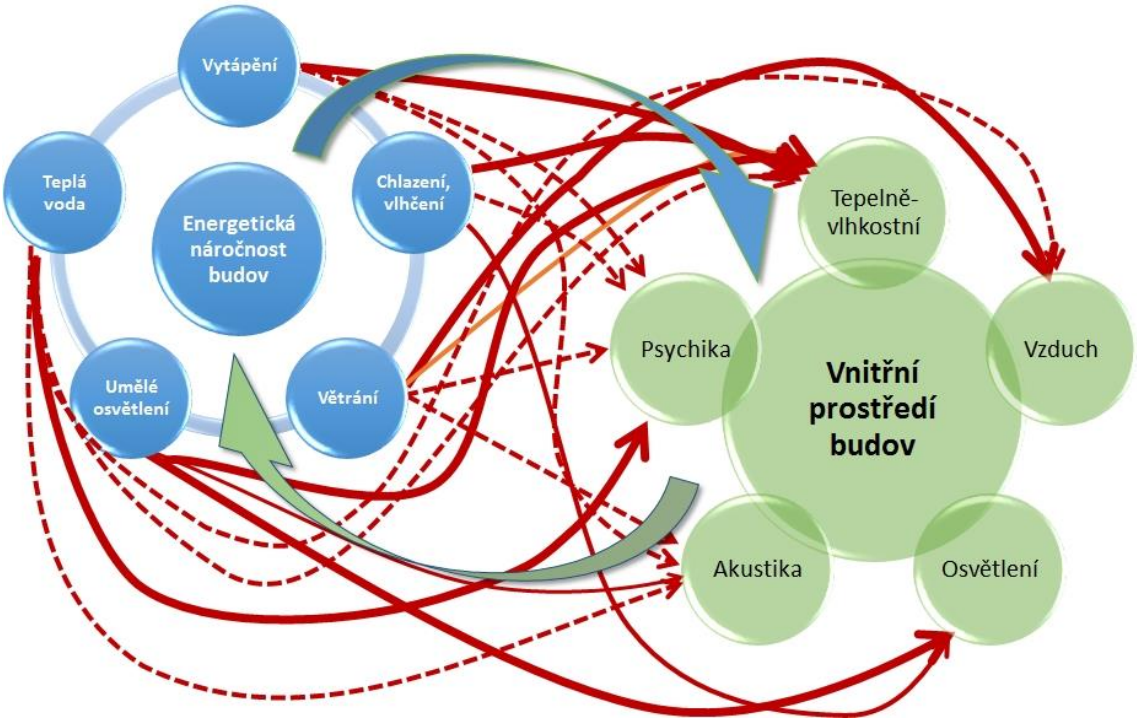
kabele@fsv.cvut.cz

ANOTACE

Doporučení komise (EU) 2016/1318 ze dne 29. července 2016 o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie [1] upozorňuje na problematiku zhoršení kvality vnitřního prostředí v souvislosti se zpřísňováním požadavků na energetickou náročnost vedoucích ke splnění cíle, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie. Příspěvek je zaměřen na vyhodnocení kvality vnitřního prostředí a energetické náročnosti v monitorovaných budovách z dlouhodobě měřených hodnot a dotazníkového průzkumu podle metodiky ČSN EN15251 [2] a nové metodiky ČVUT, zahrnující další parametry ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí. Hodnocení umožní uživateli stanovit třídu kvality prostředí a identifikovat očekávané problém s kvalitou prostředí související.

ÚVOD

Budova je vzájemně provázaný organismus, kde jakákoliv změna parametrů ovlivňující energetickou náročnost má dopad na kvalitu vnitřního prostředí (obr. 1). Nevyhnutelným důsledkem plnění požadavků na energetickou náročnost je jejich zohlednění při návrhu budovy a jejich technických systémů, což při opominutí souvislostí s dalšími funkcemi budovy vede často k provozním problémům budov s nízkou potřebou energie.



Obr. 1 *Interakce mezi energeticky úspornými opatřeními a kvalitou vnitřního prostředí [3]*

Tyto problémy se projevují neočekávanými reakcemi budovy za provozu – přehřívání v zimním období, potíže s regulací hydronických systémů, hlučnost zařízení, špatná kvalita a distribuce vzduchu, vznik plísní, syndrom nemocných budov a další. Tyto potíže se projevují nejčastěji stížnostmi uživatelů na nespokojenost s kvalitou prostředí.

Na rozdíl od energetické náročnosti, která je objektivní hodnotou založenou na měřitelných parametrech, je vnímání vnitřního prostředí do značné míry subjektivní vjem závislý na exponovaném subjektu. Zatímco pro stanovení a hodnocení energetické náročnosti existují propracované a již v praxi zaběhnuté nástroje a metody (průkaz energetické náročnosti, certifikace budov atd.), pro kvalitu vnitřního prostředí, jehož kvantifikace je obtížnější, se nástroje a metody teprve vyvíjejí a v praxi se teprve objevují první pokusy propojit hodnocení energetické náročnosti s hodnocením kvality vnitřního prostředí.

KVANTIFIKACE VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV

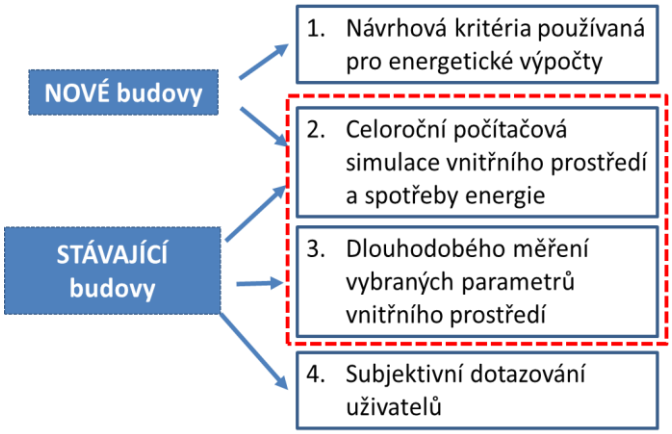
Skutečný stav kvality vnitřního prostředí v existujícím objektu lze zjistit jednak monitorováním fyzikálních veličin, jednak subjektivním hodnocením uživateli daného objektu.

Pro účely posouzení budovy nelze většinou vyhodnocovat celou budovu, a tak je nutno vybrat charakteristické místnosti klíčem, který odráží hlavní činnost prováděnou v budově, kde uživatelé pobývají nejdelší dobu nebo jsou z jiného důvodu pro provoz objektu významné. Při výběru monitorovaných místností bereme v úvahu orientaci ke světovým stranám a technické řešení systémů pro zajištění kvality vnitřního prostředí. Při hledání vhodné referenční místnosti nám mohou pomoci metody používané pro zónování budovy používané při výpočtu energetické náročnosti budov. V případě administrativní budovy to budou kanceláře a zasedací místnosti, v případě obytné budovy obývací pokoj a ložnice, v případě školy učebny apod. Výběr referenčních místností je samozřejmě předmětem individuálního přístupu v každé posuzované budově.

Další významnou otázkou pro hodnocení je volba těch složek vnitřního prostředí, které se největší měrou na celkovém stavu vnitřního prostředí podílejí. V obytných a občanských budovách jsou hlavními složkami tepelný komfort, kvalita vzduchu, akustika a osvětlení (obr. 2).

Obr. 2 *Vnímání jednotlivých složek vnitřního prostředí. Data dle [4]*

Po výběru referenční místnosti a sledovaných složek vnitřního prostředí je nutno získat data, na základě kterých lze hodnocení provést. Podle toho, zda se jedná o stávající budovu či novostavbu, volíme monitoring reálných dat kombinovaný s počítačovou simulací nebo využití počítačové simulace na základě návrhových parametrů (obr. 3).



Obr. 3 *Zdroje dat pro hodnocení kvality vnitřního prostředí budov [2]*

Pro získání dostatečně přesného obrazu je nutno zvolit monitorovací období a časový krok sběru monitorovaných veličin. Monitorovaným obdobím, během kterého lze zjistit chování budovy za různých podmínek je v ideálním případě 1 rok, nicméně pro získání základního obrazu o kvalitě prostředí postačuje i kratší časový úsek (např. měsíc), který je však třeba zopakovat v různých obdobích roku. Časový krok sběru dat se pohybuje v závislosti na charakteru měřených veličin od 1 do 15 minut.

Vyhodnocení naměřených hodnot a dotazníku za delší časové období vyžaduje zpracování velkého množství dat. Problémem je interpretace těchto naměřených hodnot v takové formě, která by byla dostatečně podrobná a vypovídající o skutečném stavu prostředí a současně přehledným sdělením o stavu objektu. Pro vyhodnocení naměřených hodnot jednotlivých měřených veličin lze použít kobercových grafů, které přehledným způsobem zobrazují získané hodnoty formou škály v časové matici. (obr.4)

Temperature

	<17 °C	17-18 °C	18-19 °C	19-20 °C	20-21 °C	21-22 °C	22-23 °C	23-24 °C	24-25 °C	25-26 °C	27-28 °C	>28 °C
	0%	**0%**	**0%**	**0%**	**12%**	**28%**	**27%**	**13%**	**9%**	**7%**	**3%**	**0%**
September 2016												
	<17 °C	17-18 °C	18-19 °C	19-20 °C	20-21 °C	21-22 °C	22-23 °C	23-24 °C	24-25 °C	25-26 °C	27-28 °C	>28 °C
0-2h					16%	21%	32%	19%	12%			
2-4h					9%	39%	33%	11%	8%			
4-6h					13%	39%	34%	8%	6%			
6-8h					25%	28%	34%	8%		3%		
8-10h					26%	36%	25%	9%	3%			
10-12h					9%	41%	25%	17%	9%			
12-14h					6%	27%	31%	22%	13%	1%		
14-16h					6%	21%	29%	20%	13%	11%		
16-18h					11%	13%	29%	13%	9%	19%	7%	
18-20h					7%	23%	23%	4%	10%	13%	20%	
20-22h					11%	25%	15%	11%	11%	18%	11%	
22-24h				2%	9%	26%	15%	17%	18%	13%		

a)

b)

Obr. 4 *Příklad vyhodnocení měsíčního měření teploty vzduchu v interiéru - procento výskytu dané teploty v časovém období dne. a) 28 % monitorovaného období je teplota vzduchu 21 až 22 °C. b) 31 % monitorovaného období mezi 12 a 14 hod je teplota vzduchu v rozmezí 22 a 23 °C [5]*

Pro klasifikaci získaných dat, tzn. jejich zatřídění a hodnocení je možno použít jednak obecně platné předpisy, které však většinou udávají velmi široké rozmezí přípustných hodnot, vyplývajících ze zdravotních nebo bezpečnostních mezí, a tak pro odlišení kvality prostředí splňujícího tyto meze je nutno použít jemnější kategorizaci získaných hodnot. Jednou z možností je využití normy ČSN EN 15251 [2]. Tato norma umožňuje stanovit a definovat hlavní parametry vnitřního prostředí, které mají vliv na energetickou náročnost budovy a slouží jako vstupní informace pro výpočet energetické náročnosti budovy a pro dlouhodobé hodnocení vnitřního prostředí. Tato norma též určuje parametry pro sledování (kontrolu) a zobrazování (měření) vnitřního prostředí ve stávajících budovách, které doporučuje směrnice o energetické náročnosti budov. Norma zavádí 4 kategorie kritérií vnitřního prostředí, z nichž první 3 odpovídají kategoriím A, B a C dle ČSN EN ISO 7730. [6]

PŘÍPADOVÁ STUDIE - PILOTNÍ VYHODNOCENÍ RODINNÉHO DOMU S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE [5]

Jedná se o jednopodlažní dřevostavbu trvale obývanou jednou rodinou, splňující požadavky na budovu s nulovou spotřebou energie. Budova je přirozeně větrána, vytápěna teplovodní otopnou soustavou s přímotopným elektrokotlem a krbovou vložkou, integrovanou do otopné soustavy. Na budově jsou osazeny fototermické solární panely sloužící k přípravě teplé vody. Celý systém TZB je řízen centrální řídicí jednotkou, která je vybavena senzory pro sledovány spotřeby energie a parametry vnitřního prostředí zaměřené na tepelný komfort a kvalitu vzduchu (teplota vzduchu, relativní vlhkost, CO_2 a VOC v obytných místnostech, a CO v místnosti s krbem). Data jsou kontinuálně ukládána s časovým krokem 15 minut a kromě toho, že jsou využívána pro inteligentní řízení budovy jsou určena pro hodnocení kvality vnitřního prostředí. Kromě měření proběhla v objektu dotazníková kampaň, zaměřená na subjektivní hodnocení prostředí a otestování způsobu vyhodnocení dat získaných měřením a dotazníky.

Níže je uveden na příkladu způsob vyhodnocení dat z jednoho měsíce (září 2016) pro referenční místnost, kterou byl vybrán obývací pokoj. Meze pro jednotlivé kategorie vycházejí z požadavků CSN EN 15251 a pro posuzovaný prostor obývacího pokoje jsou shrnuty v tabulce tab. 1

Tab. 1 - *Nastavení mezí pro hodnocení vybraných parametrů kvality prostředí vycházející z principů EN 15251*

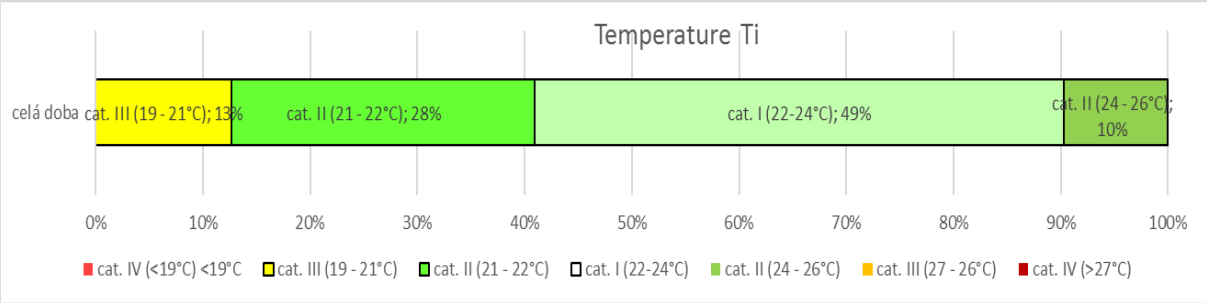
Kategorie	Teplota vnitřního vzduchu Ti	Relativní vlhkost	Koncentrace CO_2
I	22 – 24 °C	45 – 55 %	<800 ppm
II	21 – 22 °C nebo 24 – 26 °C	35 – 45 % or 55 – 65 %	800 – 1000 ppm
III	19 – 21 °C nebo 26 – 27 °C	30 – 35 % or 65 – 70 %	1000 – 1500 ppm
IV	<19 °C or >27 °C	<30 % or >70 %	>1500 ppm

V průběhu měsíce proběhla též dotazníková kampaň, během které byly zjišťovány subjektivní pocity související s vnímanou kvalitou prostředí. Dotazník obsahuje 20 otázek zaměřených na jednotlivé složky prostředí a za sledované období bylo pro sledovanou místnost získáno celkem 37 odpovědí. V následujícím je vyhodnocení objektivních a subjektivních dat pro

vybrané složky vnitřního prostředí, kterými byl tepelný komfort, relativní vlhkost vzduchu a kvalita vzduchu vyjádřená koncentrací CO_2.

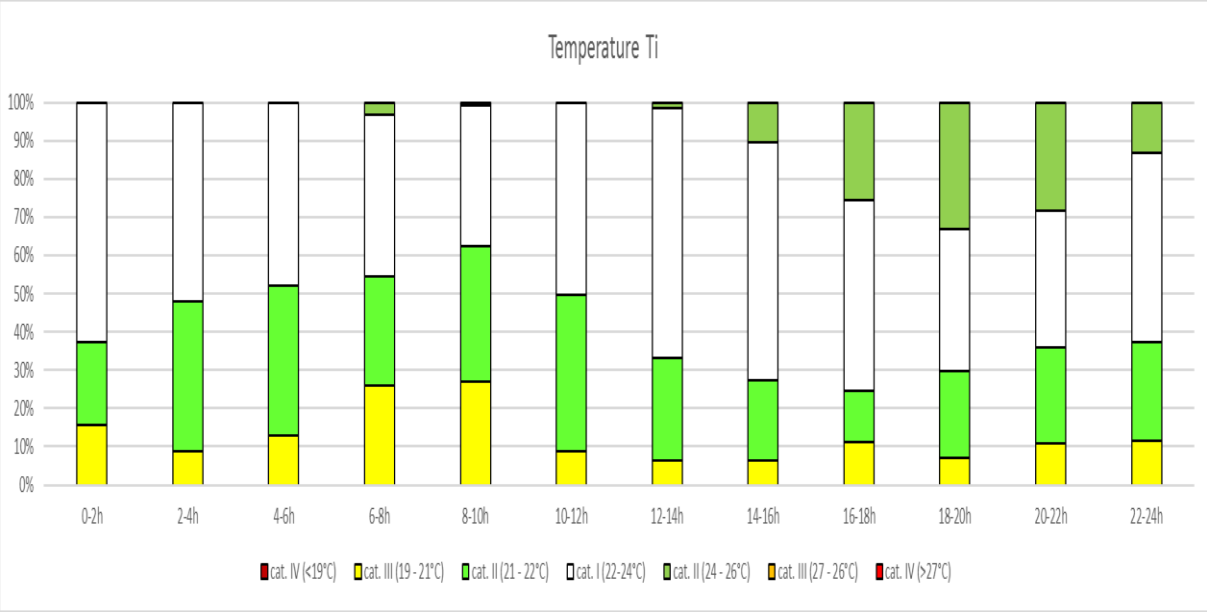
Tepelný komfort

Z obr. 5 je patrné, že 49 % času se teplota pohybovala v mezích kategorie I, nicméně lze pozorovat v 10 % času mírné přehřívání místností a ve 41 % času teploty nižší než komfortní. Ve 13 % času teploty poklesly do kategorie III.



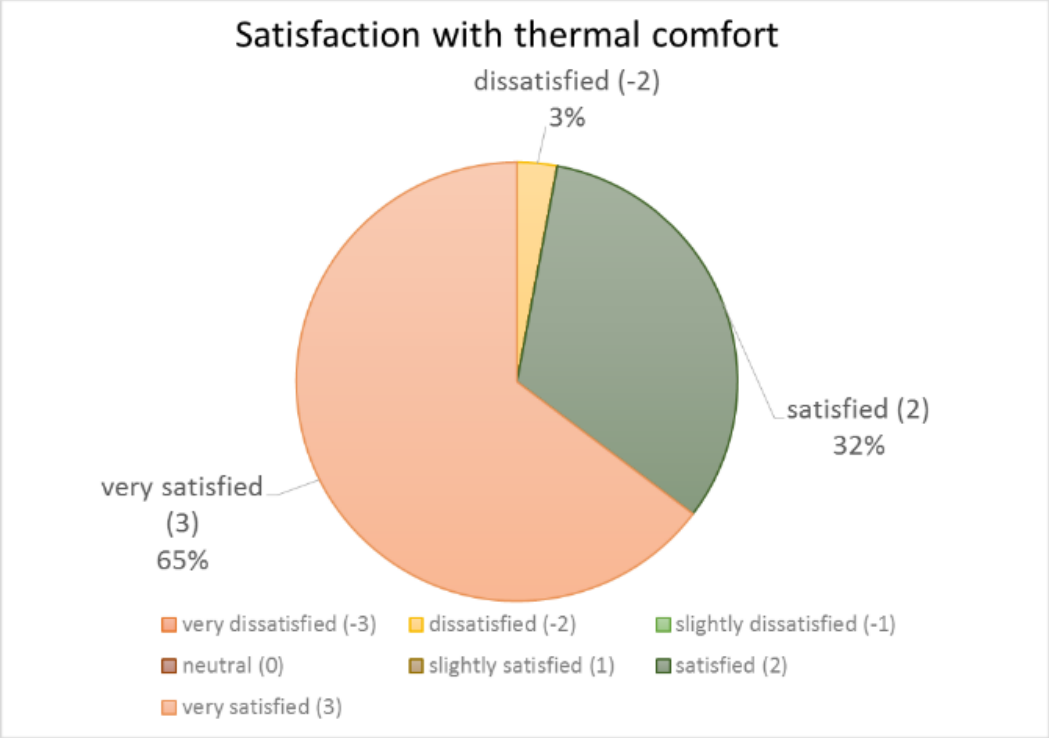
Obr. 5 *Výskyt teploty vnitřního vzduchu v procentech celkového měřeného období – obývací pokoj, září 2016*

Obr. 6 nám umožnuje detailněji analyzovat časové rozložená výskytu teplot v průběhu dne, kde je patrná tendence k přehřívání místnosti v odpoledních hodinách a podchlazení místnosti v ranních hodinách.

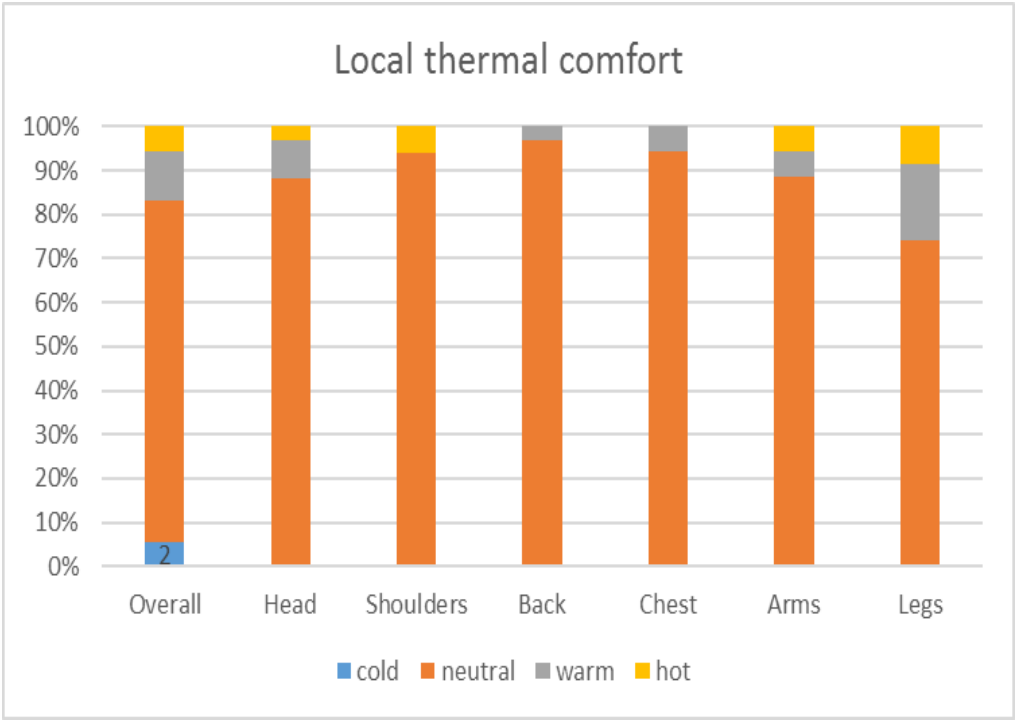


Obr. 6 *Detailní rozložení výskytu teploty vnitřního vzduchu během dne – obývací pokoj, září 2016*

Vyhodnocení dotazníkového průzkumu za stejné období indikuje 3 % času, kdy jsou uživatelé nespokojeni a 32 % času kdy jsou spokojeni s teplotou v místnosti. Úplná spokojenost je v 65 % sledovaného období. (obr. 7). Detailní analýza vnímání tepelného komfortu na jednotlivé části těla ukazuje, že nespokojenost je převážně z důvodu pocitu nadměrného tepla, nejvíce pozorovaného u nohou. (obr. 8).



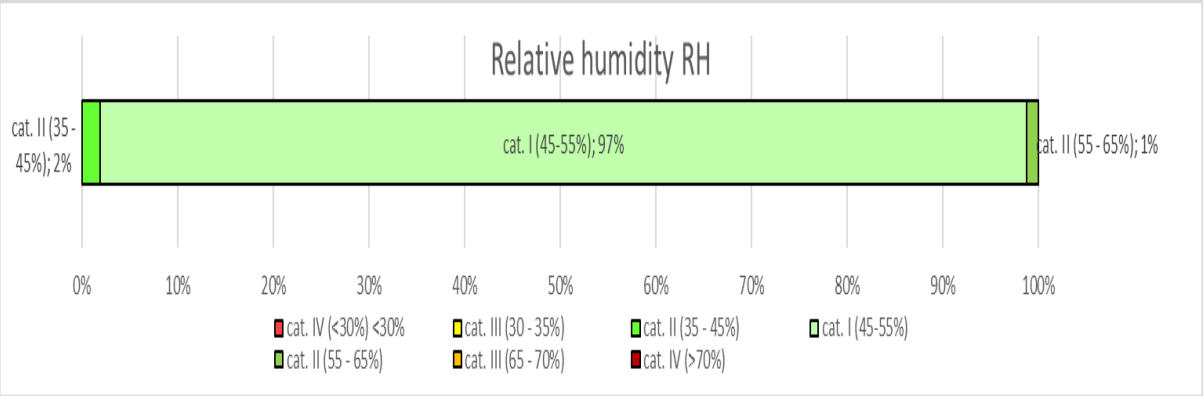
Obr. 7 *Vyhodnocení dotazníkového průzkumu tepelného komfortu – obývací pokoj, září 2016 (very dissatisfied – velmi nespokojen, dissatisfied – nespokojen, slightly dissatisfied - mírně nespokojen, neutral – neutrální, slightly satisfied – mírně spokojen, satisfied – spokojen, very satisfied – velmi spokojen)*



Obr. 8 *Vyhodnocení dotazníkového průzkumu lokálního tepelného komfortu jednotlivý částí těla – obývací pokoj, září 2016 (overall – celkový, head- hlava, shoulders- ramena, back-záda , chest – hruď, arms- paže, legs – nohy)*

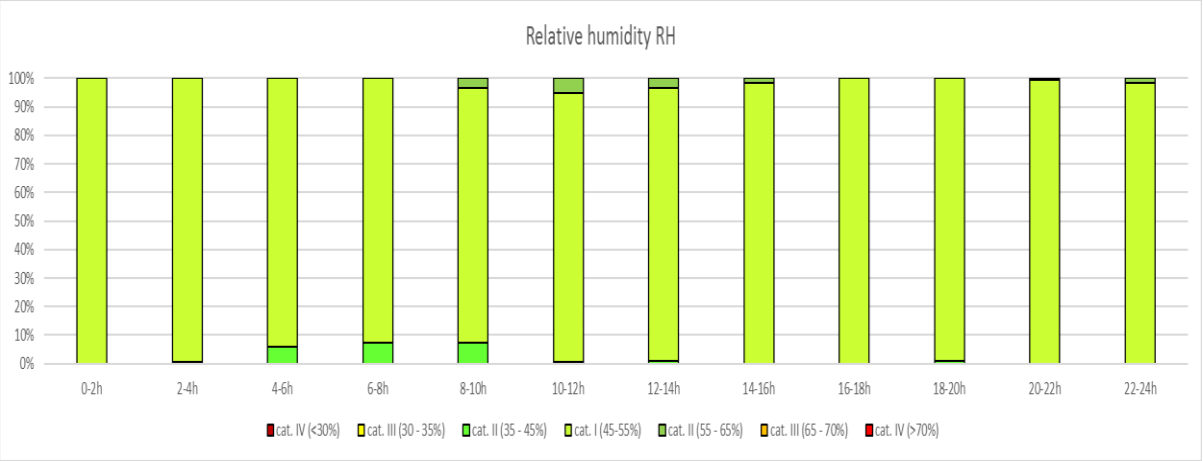
Relativní vlhkost vzduchu

Z hlediska relativní vlhkosti vzduchu nevykazuje prostor významnější problémy, 97 % času se hodnoty pohybují v mezích stanovených kategorií I a pouze v 1% času je vlhkost zvýšená a 2 % času snížená na úroveň mezí kategorie II (obr. 9)



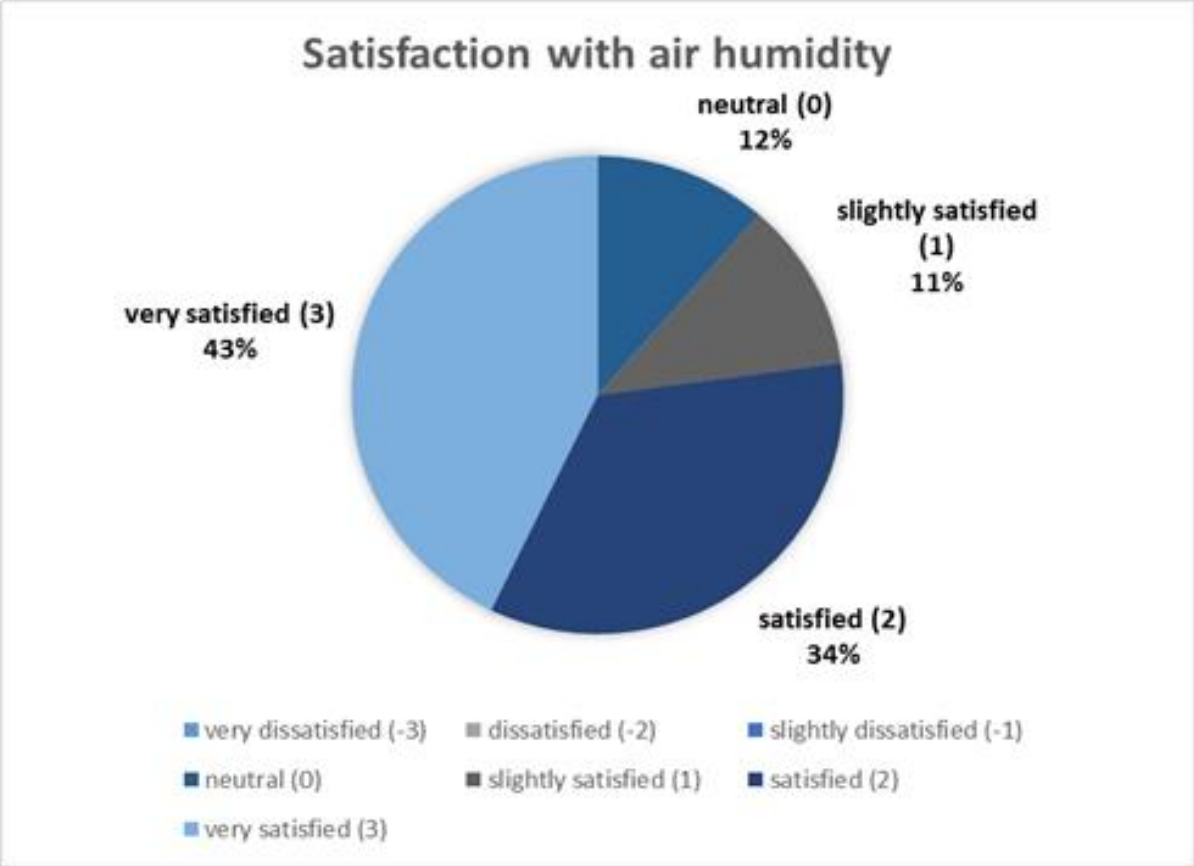
Obr. 9 *Výskyt relativní vlhkosti vnitřního vzduchu v procentech celkového měřeného období – obývací pokoj, září 2016*

Z detailní časové analýzy relativní vlhkosti jsou patrné výskyty nižší relativní vlhkosti v ranních hodinách a vyšší relativní vlhkosti v poledních a večerních hodinách, což odráží provoz místnosti, která je spojena s kuchyní (obr. 10).



Obr. 10 *Detailní rozložení výskytu relativní vlhkosti vnitřního vzduchu během dne – obývací pokoj, září 2016*

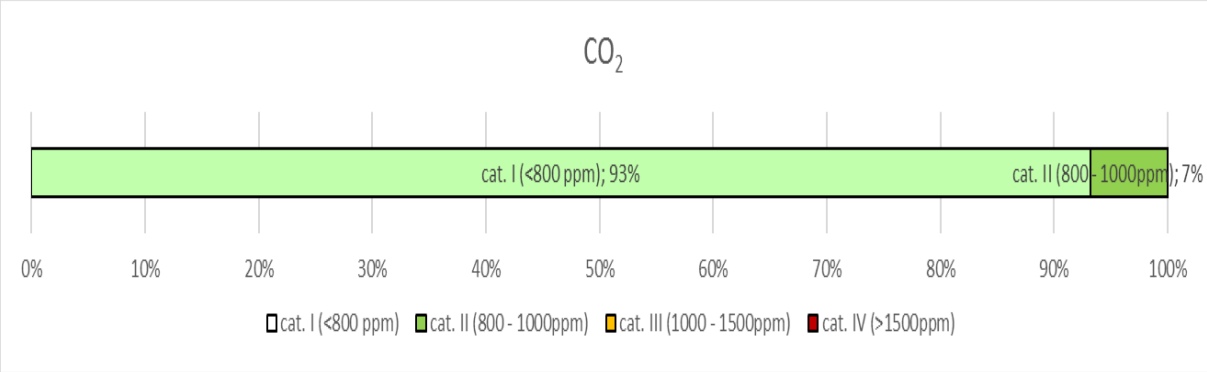
Subjektivní vnímání vlhkosti vzduchu, vyjádřené odpověďmi z dotazníku v obr. 11 ukazuje větší citlivost vnímané vlhkosti subjektivním hodnocením než objektivně naměřená data. Subjektivně je plná spokojenost s vlhkostí ve 43 % sledované doby, částečná ve 34 % sledované doby.



Obr. 11 *Vyhodnocení dotazníkového průzkumu vlhkosti – obývací pokoj, září 2016 (very dissatisfied – velmi nespokojen, dissatisfied – nespokojen, slightly dissatisfied - mírně nespokojen, neutral – neutrální, slightly satisfied – mírně spokojen, satisfied – spokojen, very satisfied – velmi spokojen)*

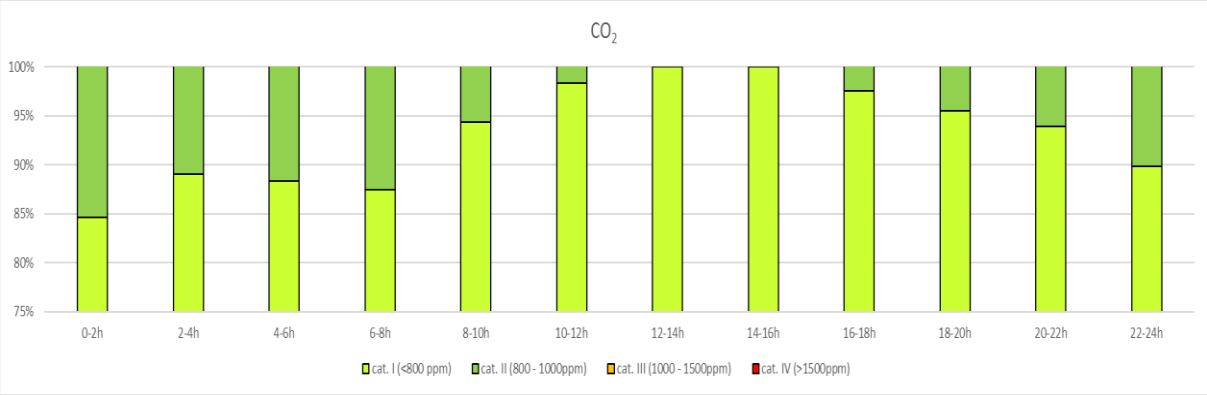
Kvalita vzduchu

Pro hodnocení kvality vzduchu byla uvažována koncentrace CO_2. která se v 93 % sledovaného období vyskytovala v mezích kategorie I. Pouze v 7 % času se koncentrace zvýšila na hodnoty odpovídající kategorii II. (obr. 12)



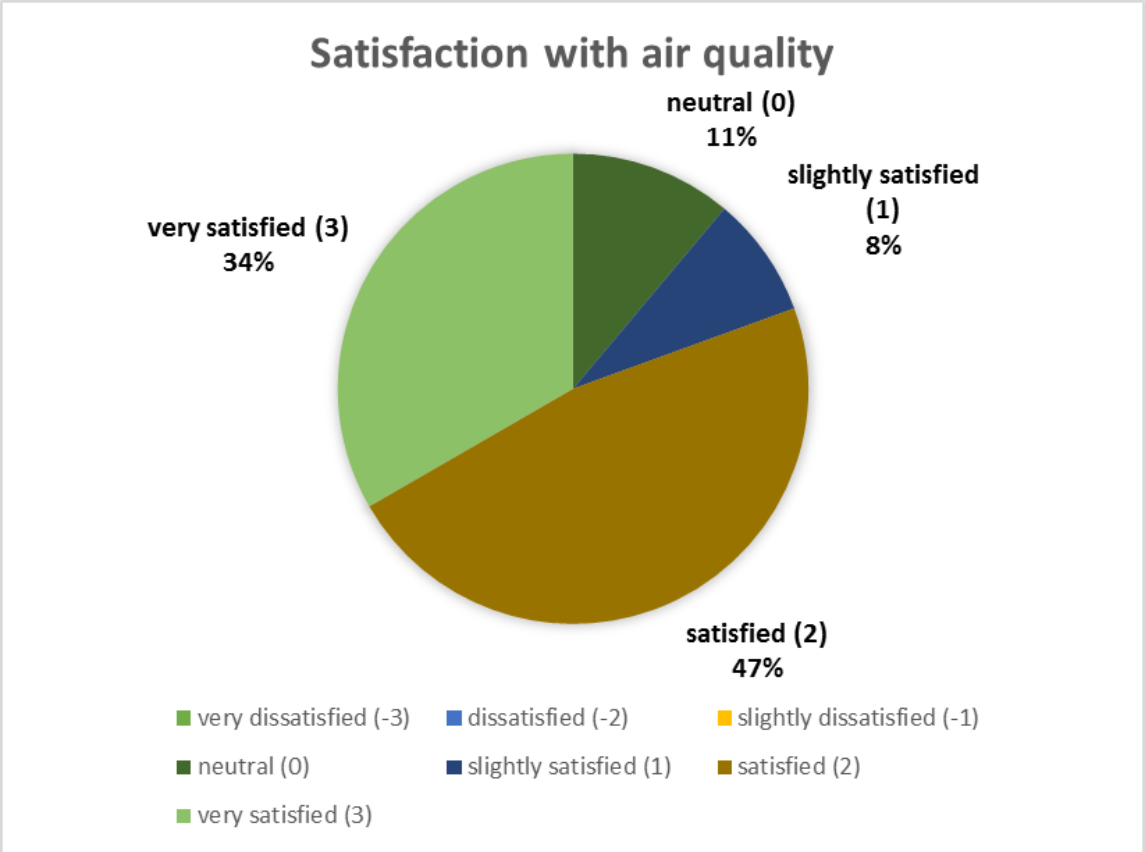
Obr. 12 *Výskyt koncentrace CO_2 v procentech celkového měřeného období – obývací pokoj, září 2016*

Časová analýza koncentrace CO_2 indikuje zajímavý průběh, který zobrazuje plynulou změnu koncentrace z maxima v nočních hodinách po minimum v poledne. (obr. 13) Tento průběh patrně souvisí s intenzitou výměny vzduchu a přítomností osob v místnosti.



Obr. 13 *Detailní rozložení výskytu koncentrace CO_2 během dne – obývací pokoj, září 2016*

Subjektivní vnímání kvality vzduchu nevykazuje zásadní problémy, 55 % času jsou uživatelé spokojeni a mírně spokojení, 34 % velmi spokojeni a 11 % času nedokáží své pocity popsat (obr. 14). V průběhu sledovaného období se nevyskytlo výrazně negativní hodnocení kvality vzduchu. Tomuto odpovídají i naměřené hodnoty.



Obr. 14 *Vyhodnocení dotazníkového průzkumu kvality vzduchu – obývací pokoj, září 2016 (very dissatisfied – velmi nespokojen, dissatisfied – nespokojen, slightly dissatisfied - mírně nespokojen, neutral – neutrální, slightly satisfied – mírně spokojen, satisfied – spokojen, very satisfied – velmi spokojen)*

ZÁVĚR

Pilotní vyhodnocení měsíčního monitoringu a dotazníkového průzkumu potvrdilo, že tato metoda umožňuje kvantifikovat kvalitu vnitřního prostředí a hodnoty měřené korelují do určité míry s hodnotami získanými dotazníkovým průzkumem. Ve sledovaném období nebyly v objektu zaznamenány extrémní situace a kvalita vnitřního prostředí byla uspokojivá. Vzhledem k tomu, že v tomto období nebyl aktivován žádný technický systém s výjimkou občasného použití krbu, nebyla hodnocena energetická náročnost, jejíž kvantifikace v měřítku srovnatelném s vyhodnocením kvality prostředí je předmětem dalšího našeho výzkumu.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory programem Competence Centres programme of the Technology Agency of the Czech Republic, projekt No. TE02000077 "Smart Regions - Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development"

LITERATURA

[1] DOPORUČENÍ KOMISE (EU) 2016/1318 ze dne 29. července 2016 o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie a osvědčených postupů k zajištění, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie, *Úřední věstník Evropské unie L 208/46 2.8.2019*

[2] *ČSN EN 15251 (127028) Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. ČNI 2011, EAN 8590963874289

[3] KABELE, K., DVOŘÁKOVÁ, P.: Indoor Environmental Quality Issues in Low Energy School Buildings in Central European Climate Conditions In: *Clima 2013 - 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC - "Energy Efficient, Smart and Healthy Buildings"*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2013, p. 4649-4659. ISBN 978-80-260-4001-9

[4] ROHLES, F. H., WOODS, J. E., MOREY, P. R.: Indoor environment acceptability: The development of rating scale. *ASHRAE Transactions 95, 1989, 1: 3197.*

[5] KABELE, K.; URBAN, M.; VEVERKOVÁ, Z. Indoor Environemtnal Quality and Building Performance Assessment in NZEB In: *indoor climate of buildings 2016 - environmentally friendly and energy efficient buildings*. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2016. pp. 137-146. ISBN 978-80-89878-04-8.

[6] *ČSN EN ISO 7730 (833563) Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu* UNMZ Praha 2006

[7] JOKL, M.: *Zdravé obytné a pracovní prostředí*, Academia, 2002, ISBN 80-200-0928-0

[8] KABELE, K., VEVERKOVÁ, Z., DVOŘÁKOVÁ, P.: Hodnocení vnitřního prostředí budov; *sborník konference Technická zařízení pro chytré, zdravé a úsporné budovy 2015*, str.73-77, Společnost pro techniku prostředí 2015, ISBN 978-80-02-02579-5

[9] KABELE, K., VEVERKOVÁ, Z., DVOŘÁKOVÁ, P.: Moderní trendy v hodnocení kvality vnitřního prostředí, *V. sympozium integrované navrhování budov 2014*, str.12-13 Společnost pro techniku a prostředí 2014, ISBN 978-80-02-02563-4

VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ V TUNELOVÝCH STAVBÁCH BĚHEM VÝSTAVBY

Jan Klečka, Jaroslav Synek[1]

[1]Metrostav a.s.

jan.klecka@metrostav.cz; jaroslav.synek@metrostav.cz

ABSTRAKT

Článek poukazuje na možné obtíže spojené s definováním a dosahováním vhodného vnitřního prostředí v podzemních stavbách během realizace a před zahájením předpokládaného provozu stavby. Popisuje vliv okolního klimatu na vnitřní prostředí (teplotu, relativní vlhkost a teplotu rosného bodu) podzemní stavby na základě analýzy chování vnitřního prostředí podzemní stavby v letním období. Zachycuje význam řízeného větrání, jeho vliv na změny vnitřního prostředí, obsahuje komplexní stavebně-fyzikální analýzu včetně naměřených povrchových teplot obalových konstrukcí tunelu s využitím termovizní kamery v reálném čase a prostoru konkrétní podzemní stavby.

ÚVOD

Vnitřní podmínky ve stavbě se při realizaci významně liší od provozního stavu, kdy jsou v činnosti technologická zařízení zajišťující řízení vnitřních podmínek větráním, případně i vyhříváním, a stavba je provozována v předpokládaném režimu a vystavena předpokládaným namáháním. Stav prostředí je při provozu aktivně řízen, jeho parametry jsou podrobně sledovány, stejně jako pravidla a zákonitostí řízení parametrů vnitřního prostředí.

Naproti tomu stav vnitřního prostředí podzemní stavby při realizaci je velmi málo prozkoumanou částí podmínek (požadavků) návrhu i provádění stavby, stejně jako znalost chování vnitřního prostředí a možnosti jeho ovlivnění. Literatura k tomuto tématu je velmi kusá. Dosud publikované informace o vnitřním prostředí a jeho chování při realizaci svědčí o tom, že znalost této problematiky nezbytné pro technické řízení a vedení projektu i realizace, je nedostatečná a není ji věnována potřebná pozornost.

Při zjištění nevhodných parametrů prostředí při stavbě (vlhkost, teplota) a hledání způsobů, jak parametry zlepšit během stavby, (především při montážích technologického vybavení) byla na základě sledování parametrů prostředí stanovena hypotéza, jejíž platnost byla následně ověřována monitoringem vnitřního a vnějšího klimatického prostředí tunelu, zkoumáním vlivu řízeného větrání v nedokončené a neprovozované stavbě.

V článku uvedené konkrétní zjištěné a naměřené parametry a vyplývají ze zkušenosti při realizaci Tunelového komplexu Blanka.

OKRAJOVÉ PODMÍNKY PROJEKTU

Vnější prostředí

Rozměrné tunelové komplexy se obvykle nacházejí v silně urbanizovaných oblastech rozsáhlých měst, jejichž klimatické podmínky jsou urbanizací dále negativně ovlivněny zvyšováním teplot. Podélné vedení tras takových podzemních staveb často tvoří tzv. sifony. Tato snížená místa při absenci účinného umělého provětrávání se gravitačně plní těžším, vlhkým vzduchem tvořícím následně překážku přirozenému proudění vzduchu stavbou.

České technické normy, sloužící jako východisko pro návrh i hodnocení parametrů uvažované podzemní stavby jako okrajové klimatické podmínky stanovovali v době projektu pro zimní období teplotu -13 °C, pro letní období teplotu +32 °C a entalpii 56 kJ/kg suchého vzduchu.

Aktuálně platná ČSN 12 7010 ve znění Z1 již posun klimatu reflektuje mírným zvýšením maximální teploty, a především zvýšení nárůstem entalpie v extrému až na 75 kJ/kg suchého vzduchu.

Vnitřní prostředí

Vnitřní prostředí podzemní stavby je při realizaci ovlivňováno klimatickými a místními podmínkami místa stavby a způsobem provádění (technologiemi výstavby) se všemi negativními vlivy, především masivními mokrými procesy při výstavbě, vlivy podzemní vody a jejími průsaky do nedokončené stavby, možným vnikáním povrchových vod neuzavřenými vstupy a také projevy klimatických vlivů, kondenzací vzdušné vlhkosti na chladných konstrukcích. Vnitřní prostředí podzemních staveb bylo vždy považováno za mokré se stékající nebo i stříkající vodou.

Průběžně s vývojem v podzemních stavbách neustále roste podíl technologických prvků a zařízení elektrotechnického charakteru, která mohou uplatňovat zvýšené požadavky na ochranu proti vlhkosti a vodě (na vnitřní prostředí).

Organizace výstavby rozsáhlých podzemních staveb, v zájmu požadavku krátkého termínu uvedení do provozu, vyžaduje souběh stavebních, montážních prací a zkušebních činnosti, které se týkají technologických a elektrotechnických zařízení a vybavení stavby. Proto je zcela nezbytné při přípravě (jak návrhové, tak prováděcí) se velmi podrobně zabývat specifikací montážních podmínek ve vztahu k podmínkám ve stavbě, postupu stavebních prací a celkové rozestavěnosti.

NÁROKY NA NASTAVENÍ POŽADAVKŮ JAKOSTI ROZSÁHLÉ STAVBY PŘI REALIZACI

Vliv vnějšího klimatu na podzemní stavbu

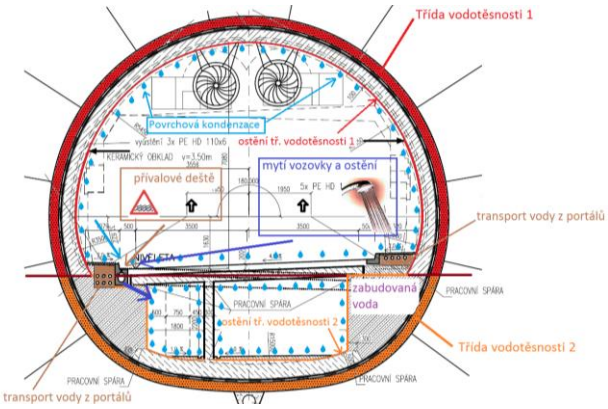
Podzemní stavba komunikačního charakteru je trvale otevřena vůči vnějšímu klimatu a prostředí otevřenými portály, kterých bývá podle rozsahu stavby často i více než deset. Portály zprostředkovávají nepřetržitý vliv vnějšího klimatu na vnitřní konstrukce stavby, jejich namáhání vlivy klimatu především za horkých letních měsíců, kdy do podzemní stavby trvale vniká horký vzduch s vysokým obsahem vlhkosti, ale podobně i v zimních měsících, jsou důvodem namáhání konstrukcí mrazem. Vliv letního klimatu s vysokým obsahem vzdušné vlhkosti se projevuje povrchovou kondenzací, která bývá pravidelně zaměňována za průsaky vody obalovými konstrukcemi stavby.

Faktory ovlivňující vnitřní prostředí

Na sledované parametry vnitřního prostředí stavby má zásadní vliv prostředí stavby, technologie využívané při stavbě a postup realizace stavby zachycený v časovém plánu. Sledované jakostní parametry, především vlhkost (prostředí i konstrukcí), je zásadně ovlivněna okolním prostředím (hladinou a prouděním podzemní vody).

Další příčinou negativního působení vody na stavbu jsou mokré procesy silikátové báze podzemního stavitelství. Míru vlhkosti konstrukcí i prostředí ovlivňují vody do tunelu zatékající z povrchu portály a jinými vstupy. I proto skutečné množství vody v podzemní stavbě může být podstatně větší, než se obecně předpokládá. Dalším faktorem negativně ovlivňujícím vnitřní prostředí tunelu jsou vody, které v tunelu vznikají následkem vnějších klimatických podmínek v místě a čase stavby, vody kondenzující ze vzdušných vodních par na chladných konstrukcích podzemní stavby.

V provozované stavbě je vnitřní prostředí zásadně ovlivňováno vodou způsoby zachycenými na následujícím obrázku.



Obr. 1 *Možné vnější a vnitřní vlivy v tunelu během výstavby*

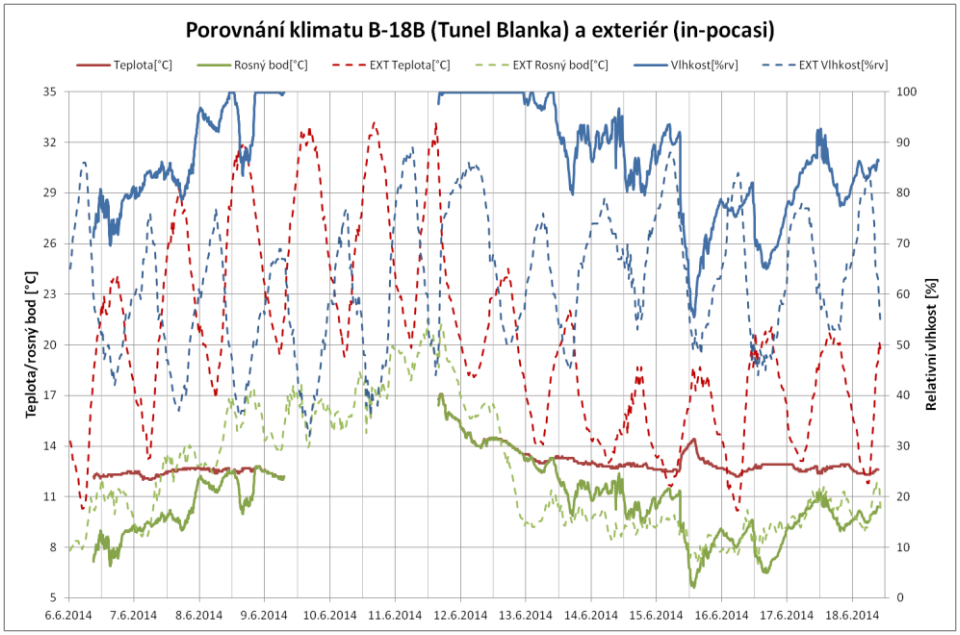
Protože při plnění konstrukčních požadavků na stavbu je nejméně prozkoumaný vliv vnitřního prostředí a vliv vnějších vod zatékajících do stavby vstupy (portály, šachtami), příspěvek se dále věnuje pouze jejich vlivům a opatřením, které je omezují.

PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V TUNELU BĚHEM VÝSTAVBY

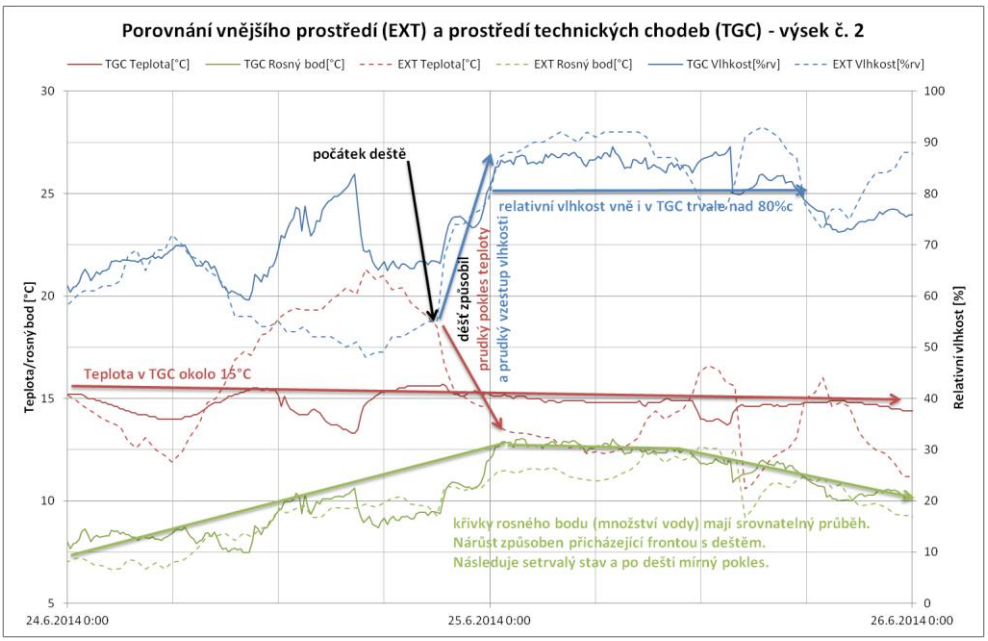
Pokud jsou během výstavby dodržovány běžné požadavky na vnitřní prostředí, a přesto se po kontrole stanovených požadavků zdá, že je dokončená stavba není schopna plnit, je nutné se zaměřit na vlivy, které nejsou obvykle uvažovány. V případě nadměrné vnitřní vlhkosti konstrukcí i prostředí byla po dlouhodobém sledování stavu vnitřního prostředí a negativních projevů stanovena předběžná hypotéza vysvětlující důvody nesplnění stanovených parametrů jakosti.

Vnitřní prostředí v podzemní stavbě v letním období 2014

V tomto období reálný stav konstrukcí signalizoval nadkritickou hodnotu vzdušné vlhkosti vedoucí k masivní povrchové kondenzaci nejen na konstrukcích stavby, ale i na zabudovaných technologiích, a byl důvodem, proč v červnu 2014 bylo zahájeno monitorování vnitřního mikroklimatu. Osazenými čidly byl monitorován stav (parametry) vnitřního prostředí nad vozovkou v tunelové troubě (6. 6 - 18. 6. 2014), i v technických chodbách pod vozovkou (18. 6 - 26. 9. 2014), a v místě technologických zařízení.



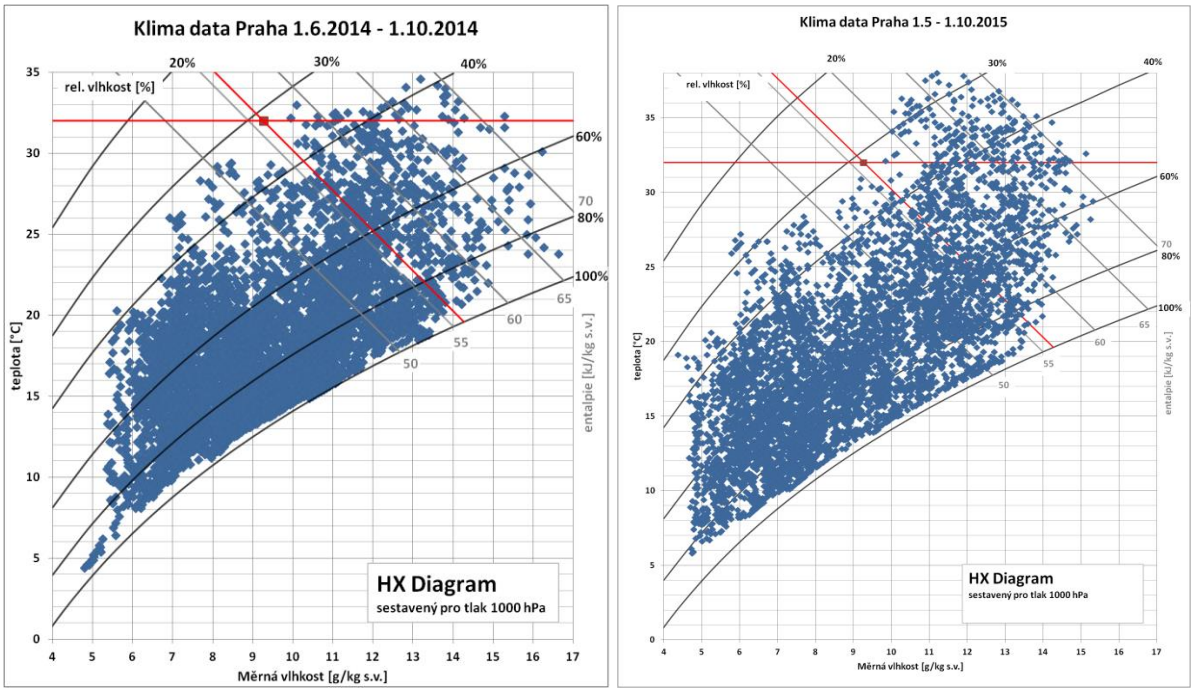
Obr. 2 *Prostředí v tunelových troubách 2014*



Obr. 3 *Prostředí v technických chodbách*

Vnější prostředí v místě stavby v letním období 2014

Současně bylo monitorováno i vnější prostředí stavby a získané hodnoty porovnávány s normovými předpoklady technického řešení. Rozložení hodnot vnějšího prostředí pro přehlednost všech sledovaných parametrů bylo vyneseno do HX diagramu.



Obr. 4 *Vnější prostředí v letním období 2014 a 2015*

Z analýzy získaných dat vyplynulo, že po dobu více než 10 dnů (250 h) v měřeném období byla překročena normová hodnota entalpie, a po dobu více než 22 dnů (530 h) byla teplota rosného bodu vzduchu vyšší než 16 °C. V podzemní stavbě tedy docházelo ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na chladném povrchu konstrukcí, který z dlouhodobé zkušenosti dosahuje teploty cca 12 °C. Přibližný numerický výpočet objemu kondenzace vzdušné vlhkosti z horkého vzduchu ve vnitřním prostředí celého rozsáhlého tunelového komplexu z dat

zaznamenaných vnějších klimatických podmínek odhadoval množství zkondenzované vody cca 190.000 l v celé stavbě za celé letní období, která zhoršovala vlhkostní stav všech vnitřních konstrukcí stavby. Mezi jiným bylo zjištěno, že převážná část kondenzace proběhla v červenci 2014, který byl metrology vyhodnocen jako jeden z nejteplejších a zároveň nejdeštivějších měsíců, tj. nejvlhčích období v dlouhodobém pozorování.

Dílčí vyhodnocení

Na základě výstupů postupných analýz naměřených hodnot v kombinaci s termovizním měřením teplot povrchu konstrukcí byly stanoveny dílčí závěry:

Ke vzniku kondenzace vzdušné vlhkosti na povrchu chladných konstrukcí v podzemní stavbě vč. kabelových kanálů dochází v letním období při vysokém nasycení vnějšího vzduchu vlhkostí při trvale nízké povrchové teplotě podzemních konstrukcí. Měření potvrdilo empirické předpoklady povrchové teploty podzemních konstrukcí termovizní na hodnotách +11 až +13 °C bez vlivu větrání.

Při zajištění dostatečného proudění vnějšího, velmi teplého vzduchu stavbou stoupají povrchové hodnoty v závislosti na poloze vůči portálům až k +17 °C, kdy povrchová kondenzace začíná klesat.

Závislost letní povrchové kondenzace v podzemní stavbě na teplotě vnějšího vzduchu jednoznačně prokazuje rozvoj plošné kondenzace až na vozovky tunelu. Povrchovou plošnou kondenzaci si nelze plést s průsaky obvodovými konstrukcemi. Příklady projevů plošné kondenzace v horkých dnech jsou zachyceny na následujících snímcích.

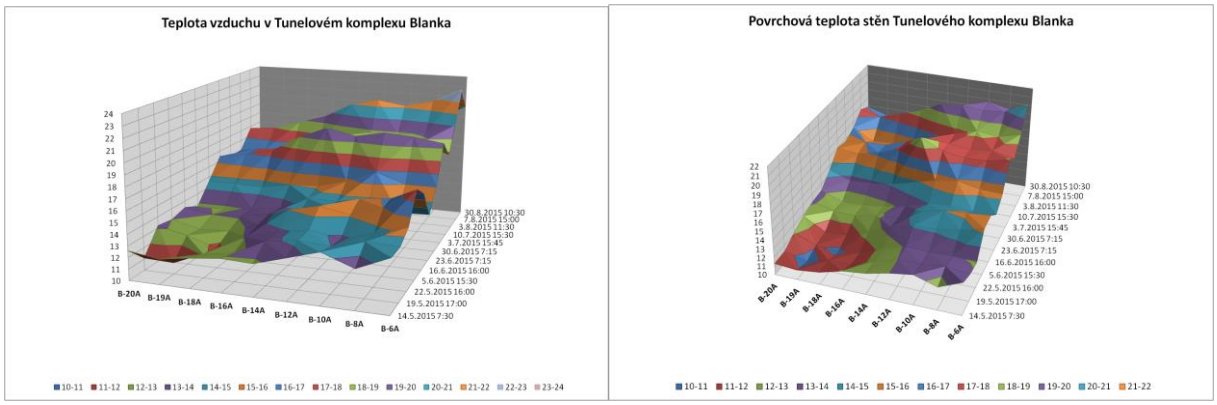
Obr. 5 *Povrchová kondenzace v tunelu*

Vnitřní prostředí v místě stavby v letním období 2015

Po zkušenostech z léta 2015 bylo květnu zahájeno namátkové měření teploty vzduchu a nově i povrchové teploty ostění tunelu. Měření bylo prováděno v jižní tunelové troubě za vjezdem v Tróji v neovlivněném místě portálem (v grafu označeno B-20A) až za výjezd na Letné, kde byla měřena i část vodorovného profilu tunelu v hloubené části (B-6A).

Jakmile nastaly opět horké dny a znovu se objevila povrchová kondenzace na konstrukcích tunelu, bylo v souladu s dílčími závěry rozhodnuto, že využitím a řízením provozu trvalých větracích systémů (proudové ventilátory ve vrchlíku tunelu) budou tunely na základě stanovených podmínek provětrávány s cílem zvýšit pohyb vzduchu v podzemí a povrchové teploty konstrukcí, a tak omezit povrchovou kondenzaci. Tato skutečnost byla opět měřena pomocí dataloggerů na třech místech v měřené části tunelu.

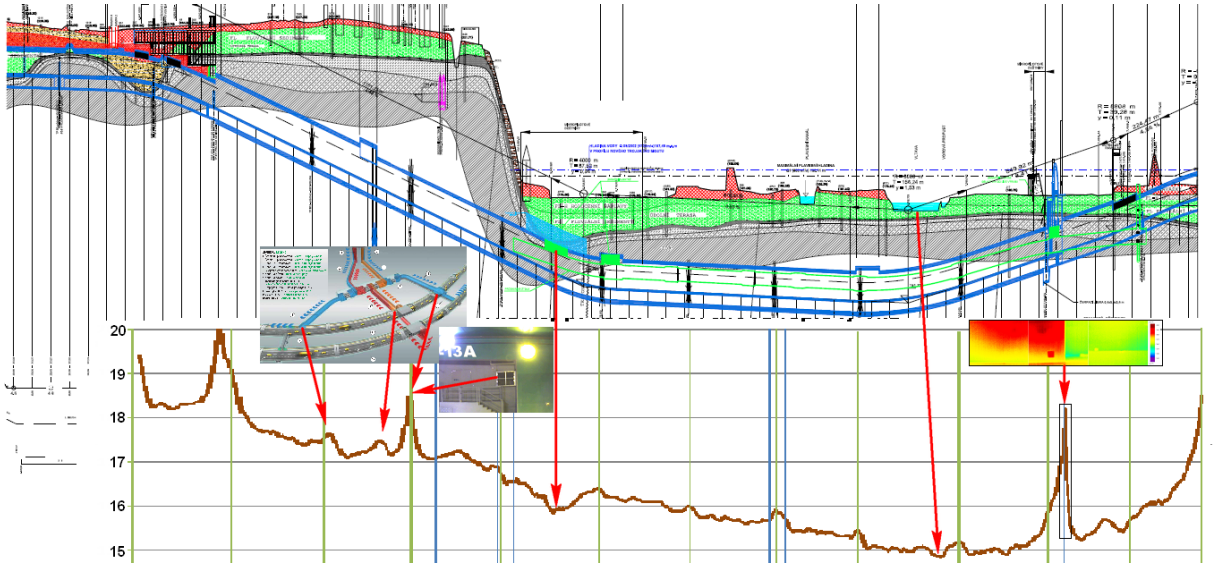
Pro zahájení nuceného provětrávání byly na základě údajů předchozího monitoringu vnitřních povrchových teplot konstrukcí stanoveny výchozí hodnoty na vnější teplotu t_{EX} > +18 °C a teplotu rosného bodu t_{RB} < +13 °C. Tyto předpoklady se potvrdily vč. nastavených počátečních hodnot pro zahájení větrání a v krátké době řízeného provětrávání začala klesat povrchová kondenzace. Prokázal se tak pozitivní vliv větrání zvýšením teplot vnitřního prostředí i povrchů konstrukcí. Výchozí hodnoty byly dále zpřesňovány.



Obr. 6 *Růst teploty vzduchu a povrchové v tunelu v letním období vlivem větrání*

Průběhy povrchových teplot konstrukcí a teploty vnitřního prostředí v podzemní stavbě ve vybraných bodech ukazují grafy. Nucené provětrávání probíhalo vždy jedním párem proudových ventilátorů v klenbě tunelu poblíž nejhlubšího místa stavby. Při příchodu extrémních teplot se po opakovaném spuštění větráků podařilo zvýšit povrchovou teplotu konstrukcí v kritických místech z +10 °C až na +17 °C a tak výrazně oddálit nástup a potlačit rozsah povrchové kondenzace. Ta v uvedeném místě podle měření nastala pouze na dobu cca 5 h.

Během období nízkých teplot (13. 7. 2015), kdy nebylo žádoucí větrat stavbu, bylo provedeno komplexní měření povrchových teplot v polovině tunelu pomocí termovizní kamery. Bylo pořízeno 527 termovizních snímků, ze kterých byl sestaven teplotní profil ostění tunelu. Ten byl porovnán s podélným řezem stavby a polohou tunelu v terénu. Porovnání je zachyceno vidět na následujícím obrázku.

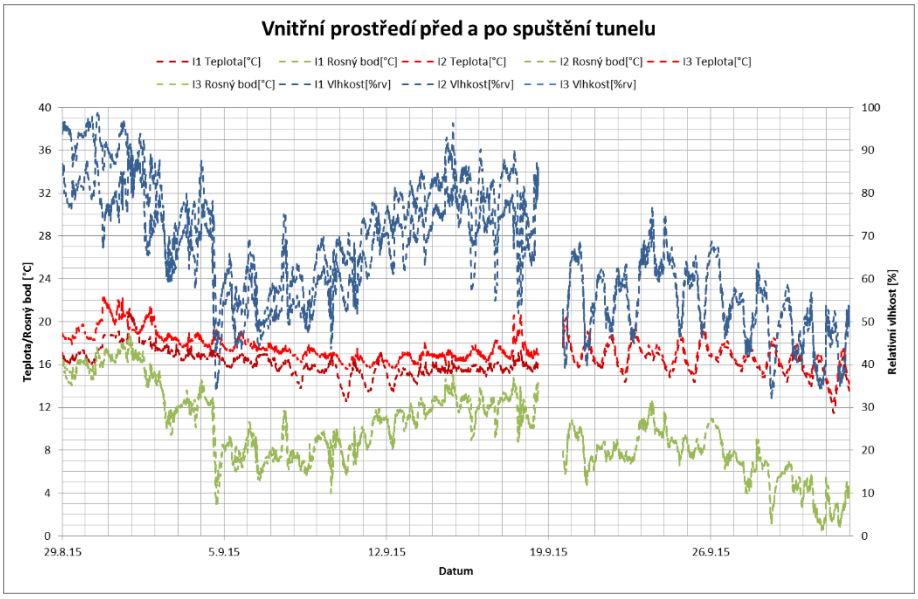


Obr. 7 *Vztah povrchové teploty a podélný řezu tunelu (12. 7. 2015)*

Vynesené povrchové teploty podzemních konstrukcí odpovídají tvaru příčného profilu, a mj. také potvrdily předpokládaný vliv polohy stavby v terénu (s ohledem na hladinu podzemní vody) na vnitřní prostředí. Nejchladnější místo tunelu bylo zastiženo v oblasti podchodu stavby pod korytem řeky a podobně i v místě poruchy konstrukce provizorního ostění v oblasti zcela zvodnělého nadloží. Naopak teplotní maxima byla zastižena u vyústění větrání technologických zařízení. Zajímavou teplotní anomálií jsou změna příčných profilů, kde dochází ke změnám tlakových a rychlostních parametrů proudícího vzduchu ve stavbě a především poměru ochlazovaných a oteplovaných ploch (přechody mezi tunelovou troubou pro tři a dva dopravní pruhy).

Stav vnitřního prostředí po zahájení provozu

Hypotéza, která předpokládala rozhodující vliv provozu na provětrávání a stav vnitřních konstrukcí podzemní stavby se potvrdila velmi brzy po zahájení provozu a v následujícím období. Naměřené hodnoty i vizuální kontroly potvrdily, že pro stav vnitřní prostředí je rozhodující dopravní provoz tunelu, kdy pístový efekt jednosměrného provozu násobně zvýší výměnu vzduchu při stavbě a pozitivně ovlivní povrchové teploty konstrukcí a zabrání tak vzniku kondenzace. Pozitivní vliv na zvýšení vnitřní teploty prostředí i povrchů má vyzařovaný tepelný výkon motorů projíždějících vozidel. Provozní stav konstrukcí také jednoznačně vyvrací domněnky o průsacích obálkou stavby.



Obr. 8 *Vnitřní prostředí před a po spuštění do provozu (09-10/2015)*

Pokračující monitorování teplot potvrzuje zásadní vliv vnějšího klimatu na vnitřní prostory podzemní stavby. Průběh a rozložení teplot odpovídá s určitým posunem a útlumem hodnotám parametrům vnějšího klimatu. Tento vliv je určující, a zhotovitel stavby má jen omezenou možnost řízeným větráním jeho účinek na stavbu výrazně ovlivnit. Je rozhodně nutné s touto možností při zadávání stavby počítat, stejně jako s nutností navrhovat všechna elektrická zařízení umístěná v podzemí s krytím dostatečným krytím.

ZÁVĚRY

Dokumentované zjištění z této rozsáhlé podzemní stavby dovolují formulovat některé zcela obecné závěry:

- Základem pro dosažení jakosti rozsáhlé podzemní stavby je podrobné stanovení požadavků (podmínek) na jednotlivé části stavby v závislosti na požadavcích prostředí

(parametrech jakosti) a jejich kvalifikované promítnutí do smlouvy o dílo, do návrhu (technického řešení), a také realizačních postupů a časového plánu, vztahů mezi dodávkou stavební části a technologií.

- Pro dosažení těchto požadavků je nutné v návrhu i časovém plánu stavby vytvořit podmínky časové, prostorové a technologické.

Ve vztahu k vnitřnímu prostředí podzemní stavby při stavbě pak následující:

- Vnitřní prostředí v tunelu, pokud není zlepšováno dostatečně kapacitním větráním (případně temperováním), má stejnou teplotu rosného bodu jako vnější prostředí.
- Během výstavby nelze vyloučit plošnou povrchovou kondenzaci na chladných podzemních konstrukcích a nelze garantovat nižší relativní vlhkost povrchů konstrukcí a zařízení než 100 %.
- Podmínky vnitřního prostředí v nedokončené a neprovozované podzemní stavbě jsou vždy náročnější (horší) než podmínky vnitřního prostředí provozované stavby.
- Teplota a vlhkost ve vnitřním prostředí tunelu úzce souvisejí s umístěním stavby v území, s jejím tvarem, podélným profilem a rozložením v terénu.

LITERATURA

[1] SATRA s. r. o., Metroprojekt Praha a. s., Pudis a. s., Zadávací dokumentace stavby MO v úseku Myslbekova – Pelc Tyrolka

[2] SATRA s. r. o., Koordinační dokumentace postupu výstavby stavební části a montáží technologií staveb MO, Soubor staveb MO v úseku Myslbekova – Pelc Tyrolka, 01/2012

[3] JOKL, V. Teorie vnitřního prostředí budov, ČVUT, 2011

[4] JELÍNEK, V. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku, www.tzb-info.cz

[5] Český hydrometeorologický ústav, [on-line], http://www.infomet.cz

[6] Archiv klimatických dat Praha 9 Prosek, [on-line], http://www.in-pocasi.cz

[7] Popis příčin vzniku kondenzace a popis klimatu v tunelových troubách a kabelových kanálech, Metrostav a.s., 9/2014

[8] ČSN 12 7010 Z1:2016, Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení – Obecná ustanovení

NÁVRH POŽIARNEHO VETRANIA GARÁŽE POMOCOU CFD SIMULÁCIE

Miroslava Kmecová[1], **Peter Buday**[2]

[1]Stavebná fakulta STU v Bratislave, Katedra technických zariadení budov
[2] Stavebná fakulta STU v Bratislave, Katedra konštrukcií pozemných stavieb
miroslava.kmecova@stuba.sk, peter.buday@stuba.sk

ANOTÁCIA

Predmetom publikovanej práce je návrh prevádzkového a požiarneho vetrania podzemnej garáže pomocou impulzných ventilátorov. Pri návrhu je potrebné zohľadniť všetky aspekty správania sa tekutín. Existuje mnoho parametrov, ktoré môžu ovplyvniť toky prúdenia. Všetky parametre musia byť zohľadnené pri návrhu takéhoto funkčného a efektívneho typu vetrania. Výpočet zložitého prúdenia tekutín so zohľadnením geometrie priestoru nie je možné vykonať pomocou jednoduchých výpočtov. Návrh takéhoto typu vetrania je používaný čoraz viac v projekčnej praxi. Tento návrh musí byť testovaný a simulovaný v počítačových podmienkach s využitím softvéru pre analýzu CFD (Computational Fluid Dynamics). Jedná sa o analýzu systémov zahŕňajúcich prúdenie tekutín, prenosu tepla a príslušných javov za pomoci numerických modelov. Vďaka CFD simulácii je možné predvídať prúdenie vzduchu v priestore s mierou kontaminácie CO, tepla a dymu s prihliadnutím na členitosť priestoru. Práca sa zaoberá návrhom a analýzou CFD simulácie s cieľom vytvorenia funkčného systému požiarneho vetrania, ktorého výsledkom je zníženie teploty splodín horenia, zvýšenie viditeľnosti v priestore garáže, zvýšenie bezpečnosti evakuácie a čo najrýchlejšie odvetranie. CFD simulácia je vhodným nástrojom pre praktické projektovanie funkčných a účinných vetracích systémov. Pri návrhu sú zohľadnené všetky normatívne požiadavky podľa britskej normy BS 7346-7:2013. Na základe funkčného vetracieho systému je zabezpečená ochrana zdravia a v extrémnych prípadoch aj ochrana životov ľudí, pohybujúcich sa v týchto priestoroch.

ÚVOD

V súčasnosti sú podzemné garáže neoddeliteľnou súčasťou väčších objektov. Podzemné garáže musia spĺňať hygienické a bezpečnostné predpisy. Podľa veľkosti podzemných garáži a požiadaviek z hľadiska požiarnej ochrany sa v garážach navrhuje okrem prevádzkového vetrania aj požiarne vetranie. Úlohou prevádzkového vetrania je z garáže odvádzať znečistený vzduch, ktorý vzniká pri prevádzke motorových vozidiel, aby sa zabránilo poškodzovaniu zdravia ľudí. Systém požiarneho vetrania odvádza z priestoru horiacej garáže prebytočné teplo a splodiny horenia a zároveň privádza do priestoru čerstvý vzduch, čím zvyšuje bezpečnosť unikajúcich osôb a bezpečnosť hasičských jednotiek pri zásahu. V súčasnosti sa na požiarne vetranie garáží využíva systém s posuvnými ventilátormi, ktoré posúvajú znečistený vzduchu k hlavným odvodným šachtám. Výhodou tohto technického riešenia je eliminovanie rozmerného vzduchotechnické potrubia. Navyše, systém možno využívať na prevádzkové a zároveň aj požiarne vetranie. Nevýhodou tohto systému je, že nie je momentálne zakotvený v slovenských právnych predpisoch a normách. Preto sa pri jeho projektovaní pristupuje k využívaniu európskych noriem. Navrhnutý vetrací systém je nutné overiť, prípadne upraviť na základe CFD simulácie.

Škodliviny vznikajúce pri požiari

Medzi závažné škodliviny v podzemných garážach patria splodiny vznikajúce pri požiari. Poznatky z požiarov vedú k záverom, že z hľadiska bezpečnosti osôb sú splodiny horenia pre

ľudský organizmus nebezpečnejšie ako ostatné javy, ktoré sprevádzajú požiar. Splodiny pôsobia v dvoch formách, a to ako dym a ako toxické plyny. Hlavnou príčinou úmrtia pri požiaroch je otrava oxidom uhoľnatým. Jedná sa o najnebezpečnejší produkt horenia, ktorého dolná hranica toxického pôsobenia je 0,01 až 0,02 % obj. Pri koncentrácii vyššej ako 1 % obj. stráca človek vedomie a smrť prichádza v priebehu 1-3 minút. Z toxikologického hľadiska je najzávažnejšia prítomnosť dymu, toxických plynov a nedostatok kyslíka. Vznikajúce splodiny horenia znižujú obsah kyslíka vo vzduchu, potláčajú schopnosť človeka reálne uvažovať a tvoria predpoklad pre vznik paniky. Okrem priamych toxických účinkov splodiny horenia zhoršujú viditeľnosť a znižujú orientačnú schopnosť pri evakuácii osôb [1].

Požiarne vetranie

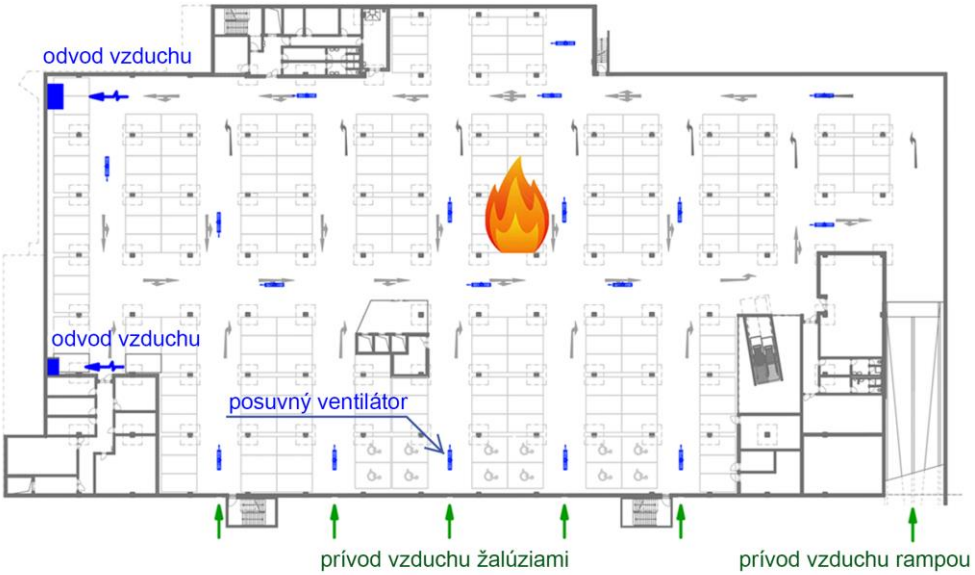
Požiarne vetranie nie je určené na zachovanie čistého priestoru garáže, limituje hustotu dymu, alebo teplotu počas špecifikovaného času a napomáha pri úniku osôb z priestoru. Z hľadiska ochrany zdravia ľudí musí byť zabezpečený funkčný systém požiarneho odvetrávania. Odporúča sa pritom prepojiť systém požiarneho, prevádzkového a prípadne aj havarijného vetrania, pričom takýto spoločný systém musí spĺňať požiadavky kladené na jednotlivé druhy vetrania [2]. Prepojenie systémov možno zabezpečiť návrhom vetrania pomocou posuvných ventilátorov, ktoré môžu byť vyhotovené ako jednosmerné, alebo reverzibilné. V prípade vzniku požiaru sa spustí vetrací systém na vyšší stupeň odvetrania. Všetky ventilátory použité v systéme odvodu horúcich plynov pri vetraní garáží musia byť testované v súlade s STN EN 12101-3 [3]. Vzhľadom na to, že na Slovensku neexistuje metodika návrhu požiarneho vetrania pomocou prúdových ventilátorov, pristupuje sa k návrhu podľa britskej normy BS 7346-7:2013 [4].

CFD simulácia

Návrh a účinnosť požiarneho vetracieho systému musí byť testovaný na základe počítačovej simulácie a musí spĺňa všetky potrebné parametre stanovené britským štandardom. Vzhľadom na to, že výpočet zložitého prúdenia tekutín so zohľadnením geometrie priestoru nie je možné vykonať pomocou jednoduchých ručných výpočtov, návrh vetrania pomocou posuvných ventilátorov sa musí testovať pomocou CFD simulácie. Jedná sa o analýzu systémov zahŕňajúcich prúdenie tekutín, prenosu tepla a spojených javov pomocou počítačových modelov [5]. Prúdenie vzduchu závisí od spôsobu rozmiestnenia posuvných ventilátorov, ktoré musia byť v súlade s geometriou priestoru. Zmena prúdenia vzduchu môže byť ovplyvnená stenami, stĺpmi, nosníkmi. Ku každému návrhu vetrania je nutné pristupovať individuálne. CFD simulácia je pri návrhu nápomocná, pretože poskytuje pohľad na prúdové polia, ktoré by sa inak veľmi ťažko predpovedali vopred.

NÁVRH POŽIARNEHO VETRANIA POMOCOU CFD SIMULÁCIE

Odvod tepla a splodín horenia v podzemnej garáži obchodno-zábavného centra bol riešený systémom odvetrania tzv. Smoke clearance efektom. V garáži sa uvažovalo s podtlakovým vetraním. Na odvetranie garáže bol použitý systém s posuvnými ventilátormi, ktoré boli umiestnené v priestore garáže (obr.1). Škodliviny boli odvádzané pomocou dvoch axiálnych ventilátorov umiestnených na streche objektu. V návrhu sa uvažovalo s 15-násobnou výmenou vzduchu za hodinu. Funkčnosť navrhovaného vetracieho systému bola overená počítačovou simuláciou.



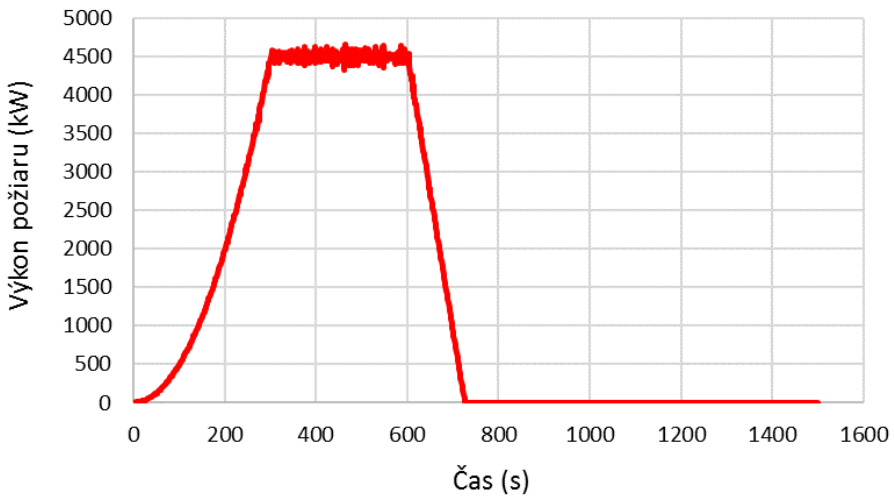
Obr. 1 *Schéma požiarneho vetrania v priestore garáže.*

Výpočtový model

Výpočtový CFD model bol vytvorený v softvéri PyroSim FDS 6.4.0 [6], ktorého súčasťou je aj dynamický simulátor požiaru Fire Dynamics Simulator (FDS). V tomto prípade sa jedná o model riadeného toku tekutiny počas požiaru. Výpočet je riešený podľa Navier-Stokesovej rovnice, ktorá je vhodná pre nízko rýchlostný tepelne poháňaný tok slúžiaci na odvedenie dymu a tepla z miesta požiaru. Na zobrazenie tokov tekutín v priestore počas požiaru slúžil vizualizačný program Smokeview 6.3.6 [7]. Rozdelenie výpočtovej siete v smere osi x = 0,5 m, y = 0,5 m, z = 0,25 m. Dĺžka simulácie bola 1500 s.

Definovanie parametrov požiaru

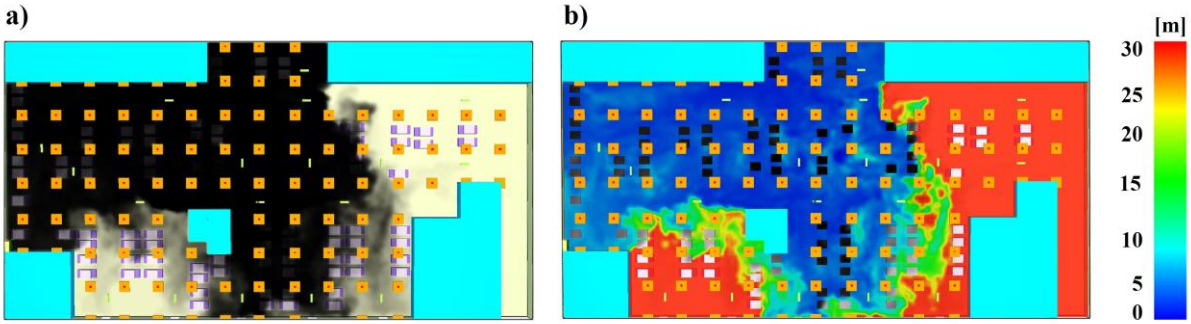
Materiál pre tvorbu splodín horenia v garáži bol definovaný ako polyuretánová reakcia, pri ktorej vznikajú splodiny horenia (polyuretán GM27). Požiar sa vyvíjal podľa krivky v čase od 0 s do 300 s (obr. 2). Po uplynutí 300 s bol požiar plne rozvinutý až po dobu 600 s, kedy nastala fáza dohorievania. V čase 725 s bol simulovaný požiar ukončený. Požiar bol definovaný podľa normovej krivky požiaru v uzavretom priestore.



Obr. 2 *Výkon požiaru počas počítačovej simulácie.*

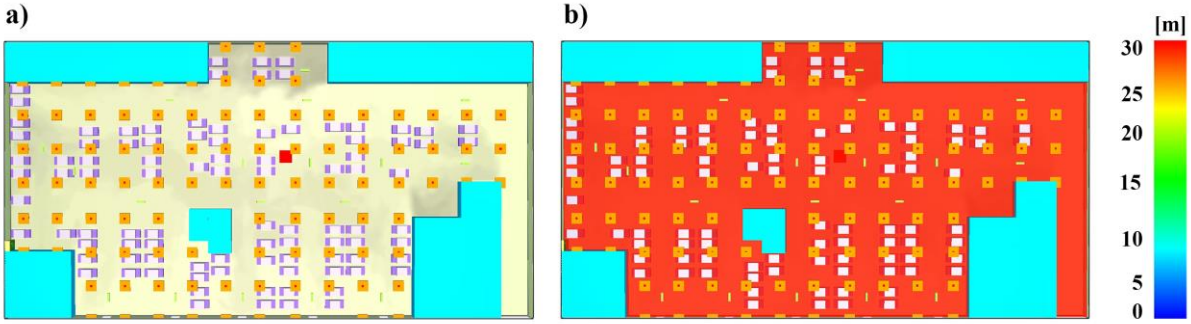
Zhodnotenie výsledkov simulácie

Počítačová simulácia zobrazuje funkčný vetrací systém, ktorý spĺňa všetky požiadavky kladené britským štandardom. Odvodné šachty boli umiestnené na opačnom konci garáže ako hlavný prívod vzduchu rampou. Toto rozmiestenie spôsobuje masívny prílev privádzaného vzduchu do celého priestoru garáže. Posuvné ventilátory boli nasmerované k príslušným odvodným šachtám. Uvažovalo sa s 15-násobnou výmenou vzduchu za hodinu. Počas simulovaného požiaru sa priestor garáže zaplavil splodinami horenia (obr. 3a), priestory únikových ciest však zostali dostatočne viditeľné, keď viditeľnosť v priestore únikových ciest bola v čase 300 s cca 25 m (obr. 3b). S pribúdajúcim časom sa viditeľnosť v priestore únikových ciest znižovala len nepatrne. Po ukončení požiaru sa priestor začal masívne odvetrávať a v čase 1000 s od spustenia simulácie bol priestor garáže znečistený dymom už len nepatrne. Priestor podzemnej garáže bol úplne odvetraný v čase 1300 s (obr. 4a). Celkové odvetranie zadymeného priestoru garáže trvalo 575 s od ukončenia požiaru.



Obr. 3 *Zobrazenie výsledkov simulácie v čase 300 s:*

a) vývoj splodín horenia, b) viditeľnosť v garáži vo výške 1,75 m



Obr. 4 *Zobrazenie výsledkov simulácie v čase 1300 s:*

a) vývoj splodín horenia, b) viditeľnosť v garáži vo výške 1,75 m

ZÁVER

Z výsledkov simulácie vyplýva, že navrhované riešenie odvetrania garáže je vhodné. Priestor garáže sa úplne odvetral už po 575 s od ukončenia požiaru a počas požiaru ostali priestory v oblasti chránených únikových ciest dostatočne viditeľné, čo by prispelo k bezpečnejšej evakuácii osôb. Na základe výsledkov simulácie vetrania podzemnej garáže možno zhodnotiť tento systém ako plne funkčný. Systém spĺňa všetky platné predpisy týkajúce sa projekčného návrhu vetrania pomocou posuvných ventilátorov a je vhodným riešením odvodu tepla a splodín horenia z priestoru podzemnej garáže. Z výsledkov počítačových simulácií vyplýva, že vhodné umiestnenie jednotlivých prvkov vetracieho systému významne ovplyvňuje

celkovú funkčnosť a efektívnosť vetracieho systému. Možno konštatovať, že CFD simulácia sa v tejto štúdii osvedčila nie len ako vhodný nástroj na preukázanie správnosti návrhu požiarneho vetrania, ale aj ako efektívny projekčný nástroj na stanovenie vhodného umiestnenia jednotlivých komponentov vetracieho systému.

LITERATÚRA:

[1] Oravec, M. *Manažérstvo priemyselných havárií.* [online]. Košice : ICV TU, 2011. 11-18 s. [cit. 2016.01.14]. ISBN 978-80-553-0727-5. Dostupné na internete: <https://www.sjf.tuke.sk /kbakp/images/Subory/Manazerstvo_priemyselnych_havarii.pdf>.
[2] ČSN 73 6058. Jednotlivé, radové a hromadné garáže. 2011.
[3] STN EN 12101-3. Zariadenia na odvod tepla a splodín horenia. Časť 3: Požiadavky na odsávacie ventilátory tepla a splodín horenia. 2015.
[4] BS 7346-7. Components for smoke and heat control systems. Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks. 2013.
[5] http://www.hcgroep.com/ukhcgroep/index.php?option=com_content&view=article&id=1930:cfdsimulations&catid=450:hc-ps-uk-versie-technology&Itemid=45
[6] http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/
[7] McGranttan, K. et al. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 4: Configuration Management.* [online]. USA : National Institute of Standards and Technology, 2016. 1-8 s. [cit. 2016.04.06].Dostupné na internete<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1018-4>.

Príspevok vznikol s podporou projektu VEGA 1/0807/17 Riadenie systémov techniky prostredia inteligentných budov s podporou prediktívnych modelov a počítačových simulácií a projektu Dunajská stratégia DS-2016-0030 Energetická efektívnosť a vnútorné prostredie budov s takmer nulovou potrebou energie.

POŽÁRNĚ ODOLNÉ VZDUCHOTECHNICKÉ POTRUBÍ A POTRUBÍ PRO ODVOD KOUŘE A TEPLA (NORMY, TESTY, VÝROBA, MONTÁŽ)

Vít Koverdynský

Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., divize Isover
vit.kov@email.cz

ANOTACE

Příspěvek se věnuje technickým a normativním podmínkám protipožárních izolací vzduchovodů, které jsou v praxi mnohdy opomíjené a málo zažité. Seznamuje s principy a zásadami této problematiky a nastiňuje některé konstrukční detaily, které mohou nejvíce ovlivnit požární odolnost vzduchovodů. Na základě uvedených praktických zkušeností s protipožárními systémy je patrná nutnost intenzivního zájmu o tuto problematiku u všech dotčených subjektů (od projektantů, přes stavební dozor až po montážní firmy).

ÚVOD

Vzduchotechnické potrubí je součástí celé řady stavebních objektů. Většinou jde o objekty určené pro širokou veřejnost, v nichž pravidelně dochází ke shromažďování velkého počtu lidí. S tím souvisí zvýšené požadavky na požární bezpečnost, mimo jiné na ochranu proti šíření požáru vzduchotechnickým potrubím. Hlavním důvodem jsou výrazně vyšší průřezy oproti ostatním potrubním rozvodům TZB a také vlastnosti samotné průtočné látky (vzduchu), která neklade šíření požáru žádný odpor, naopak jej velmi snadno umožňuje. Vzduchotechnická zařízení, potrubí a jejich prostupy požárními předěly musí být navrženy tak, aby se jimi nebo po nich nemohl šířit požár či jeho zplodiny do jiných požárních úseků. V případě požáru musí být návštěvníci objektu a zásahové jednotky po určitou dobu chráněny před kouřem a žárem, které by se mohly vzduchovody šířit. Pro snížení rizik způsobených požárem se čím dál více uplatňuje i návrh zařízení pro odvod kouře a tepla (ZOKT), které snižuje působení negativních vlivů požáru odvedením kouře a tepla mimo budovu.

TECHNICKÉ NORMY

Význam ochrany osob a majetku proti požáru a jeho následkům si vynutil poměrně rozsáhlý soubor legislativních opatření. Technické normy z oblasti požární bezpečnosti staveb lze členit na normy zkušební, klasifikační, hodnotové, předmětové neboli výrobkové a normy projektové. Z hlediska tohoto členění lze konstatovat, že nejvíce je přijímáno evropských technických norem zkušebních, klasifikačních a předmětových, což logicky vyplývá z úsilí o vytvoření jednotného evropského trhu a odstranění překážek volného pohybu výrobků. Poněkud jiná situace je u technických norem projektových, jejichž národní verze zůstává v platnosti, a to mimo jiné i z důvodu odlišných místních podmínek v jednotlivých zemích. Přesto i u těchto norem dochází ke změnám tak, aby se dostaly do souladu se zaváděnými evropskými technickými normami zkušebními, klasifikačními a předmětovými.

Normy zkušební a klasifikační

Při zpracovávání projektu vzduchotechniky je v důsledku zavedení zkušební normy ČSN EN 1366-1 nutná spolupráce s projektantem požární ochrany, půjde-li o požadavky na požární bezpečnost vzduchovodů. Norma totiž již ve svém úvodu výslovně uvádí, že: *„Účelem zkoušky je stanovit schopnost reprezentačního vzorku potrubí nebo potrubní soustavy, které jsou součástí systému vzduchotechnického rozvodu, odolávat šíření požáru z jednoho požárního úseku do druhého při působení ohně zevnitř nebo zvnějšku potrubí. Lze ji aplikovat na svislá i vodorovná potrubí rozvětvená i nerozvětvená, přičemž se berou v úvahu spoje a vyústky, stejně tak jako závěsná zařízení a místa prostupu.“* Z toho vyplývá, že dodavatel

potrubí musí již v projektu dimenzovat veškerá závěsná zařízení ve vztahu k požadované požární odolnosti a logicky by měl respektovat i případná konstrukční zesílení a úpravy potrubí v místě prostupů přes požárně dělící konstrukce, pokud byly tyto úpravy při testu dle ČSN EN 1366-1 použity. Pokud návrh zanedbá projektant vzduchotechniky, měl by na to upozornit projektant PO, protože v opačném případě může dojít ke sporným situacím, které mohou vyústit i ve značné škody vyplývající z dodatečných úprav v průběhu montáže protipožárních izolací.

Ve zkušební normě jsou stanovena kritéria, pomocí nichž lze vyhodnotit schopnost potrubí zabránit přenosu požáru vlivem destrukce potrubí (celistvost *E*), tepelného přenosu na neohřívané straně (izolace *I*) a zabránění průniku kouře (kouřotěsnost *S*). Zkušební vzorek se vystaví specifickému režimu ohřívání a chování vzorku se monitoruje na základě kritérií popsaných v ČSN EN 1363-1. Požární odolnost zkušebního prvku je vyjádřena dobou, po níž jsou příslušná kritéria splněna.

Vlastní zatřídění se provádí podle klasifikační normy ČSN EN 13501-3. Klasifikace uvádí, zda jsou splněna kritéria při požáru zvnějšku (označení o → i), zevnitř (označení i → o) nebo z obou směrů (i ↔ o) a zda toto platí pro horizontální potrubí (označení ho) či vertikální (ve), nebo pro obě (ve, ho). Např. třída „EI 30 S – ve, ho (o → i)“ označuje vzduchotechnické potrubí schopné zachovat celistvost, tepelnou izolaci a kouřotěsnost po dobu 30 minut při působení požáru zvnějšku, pro vertikální i horizontální polohu.

Vzduchovody se z hlediska požární bezpečnosti staveb člení podle směru působícího tepelného namáhání a podle funkce na:
a) VZT potrubí ovlivňované hořením z vnější strany (označení „o → i“), tzv. potrubí typu A,
b) VZT potrubí ovlivňované hořením z vnitřní nebo obou stran (označení „i → o“ a „i ↔ o“), tzv. potrubí typu B,
c) zařízení pro odvod kouře a tepla (ZOKT), tzv. potrubí typu C.

Zkušební normy ČSN EN 1366-8 a 9 byly vypracovány proto, že vznikla nutnost zkušební metody pro požárně odolná potrubí pro odvod kouře a tepla (podle norem řady ČSN 73 08.. samočinné odvětrávací zařízení (SOZ)), aby bylo možné hodnotit požárně odolná potrubí již odzkoušená podle ČSN EN 1366-1 pro adekvátní použití i jako potrubí pro odvod kouře a tepla.

Cílem zařízení pro odvod kouře a tepla je snížení rizika vzniku a šíření požáru, jakož i ohrožení osob a majetku. Má se toho dosáhnout, zejména v počáteční fázi požáru, odvodem zplodin hoření a kouře a odvodem uvolněného tepla. Tím se:
- zlepšují podmínky evakuace osob,
- zlepšují podmínky zásahu požárních jednotek,
- snižuje tepelné namáhání stavebních konstrukcí,
- snižují přímé i následné škody na zařízení a vybavení objektů způsobené horkými plyny, kouřem apod.

Potrubí pro odvod kouře a tepla se klasifikuje podle normy ČSN EN 13501-4 dle vztahu k požárním úsekům:

- Z více požárních úseků se klasifikuje EI multi. Podle stupně požární bezpečnosti požárních úseků, kterými potrubí prochází, se stanoví klasifikační třída požární odolnosti potrubí, a to pro I. až V. stupeň požární bezpečnosti EI 30 multi, v ostatních případech EI 60 multi. Navíc je možné testovat tři úrovně podtlaku – 500, 1000 a 1500 Pa. Např. třída „EI 30 (ve ho) S 1500 multi“ označuje potrubí pro odvod kouře a tepla z více požárních úseků, které

je schopné zachovat limitní 10% deformaci každé strany potrubí, celistvost, tepelnou izolaci a kouřotěsnost po dobu 30 minut při odtahu tepla a zplodin hoření pro vertikální i horizontální polohu.

- Z jednoho požárního úseku, které však dále vede jinými požárními úseky, se klasifikuje shodně jako v předchozím bodě, tj. třídou EI 30 multi nebo EI 60 multi.
- Z jednoho požárního úseku, aniž by dále prostupovalo jinými požárními úseky, se klasifikuje podle předpokládané teploty odváděných horkých plynů do 300 °C jako E_{300} single, nebo přes 300 °C jako E_{600} single; za postačující se považuje třída E 30, a to bez ohledu na stupeň požární bezpečnosti požárního úseku, v němž se potrubí nachází. V praxi se těchto tříd dosahuje samostatným potrubím bez protipožární izolace.

Normy projektové

Vzduchovody se při požáru stávají nebezpečnými požárními cestami, a proto již desítky let existuje česká technická norma ČSN 73 0872, která se zabývá ochranou staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením. Kromě této normy nesmíme zapomenout na nezbytnost dodržování ustanovení dalších tří základních požárních technických norem: ČSN 73 0810 (Společná ustanovení, 07/2016), ČSN 73 0802 (Nevýrobní objekty) a ČSN 73 0804 (Výrobní objekty), které byly nedávno revidovány.

PROTIPOŽÁRNÍ IZOLAČNÍ SYSTÉM

Protipožární izolace a jejich komponenty se vyrábějí z materiálů, které:

- jsou nehořlavé,
- dobře pohlcují teplo,
- odolávají vysokým teplotám,
- tepelně izolují,
- mají těsnicí vlastnosti,
- neztrácejí tepelněizolační vlastnosti ani při působení vysokých teplot.

Z tepelně-technického hlediska představuje zkouška požární odolnosti případ nestacionárního přenosu tepla, pro jehož průběh je rozhodujícím faktorem teplotní vodivost při vysokých teplotách. Ta je silně závislá na objemové hmotnosti izolačního systému, u látek těžších probíhají teplotní změny pomaleji, u lehčích naopak.

Výsledek testu velkým způsobem ovlivňuje typ a kvalita všech použitých komponent – od vzduchotechnického potrubí, přes způsob těsnění přírub, použitý závěsný systém, až po způsob ošetření prostupu požárně dělicí konstrukcí. Použije-li se např. sebelepší protipožární izolace, ale nekvalitní a nevhodný typ závěsu, tak systém vydrží jen tak dlouho jako jeho nejslabší článek (levná ocel). VZT potrubí s požární odolností je nutno zavěšovat na kvalitní nosné profilované systémové lišty a kvalitní závitové tyče, které jsou certifikovány pro daný účel. Ty se v opačném případě působením tepla velmi rychle deformují, nejsou schopny snést teplotní zatížení a udržet potrubí na svém místě po požadovanou dobu. Šlo by tak o nezodpovědné podcenění role protipožárních opatření.

Průřezové rozměry požárně odolného vzduchotechnického potrubí i ZOKT jsou zkušebními normami limitovány. Zkušební vzorky pro čtyřhranné potrubí typu A mají rozměry 1000 × 500 mm (šířka × výška), u čtyřhranného potrubí typu B a C rozměr 1000 × 250 mm. Pro kruhové potrubí typu A je průměr zkušebního vzorku 800 mm, u potrubí typu B je průměr 630 mm a u potrubí typu C je průměr 560 mm. Výsledek zkoušky všech tří typů potrubí je dovoleno vztáhnout maximálně na rozměry 1250 × 1000 mm (čtyřhranné potrubí), případně na průměr 1000 mm (kruhové potrubí), a to přímou aplikací výsledků zkoušek. Tyto rozměry

jsou maximálními (mezními) rozměry požárně odolného VZT potrubí (chráněného potrubí) a nesmí se překročit (ani při projekci, ani při instalaci do stavby).

Norma na rozšířenou aplikaci výsledků zkoušek ČSN EN 15882-1 u potrubí typu A a B umožňuje navrhnout i větší rozměr potrubí, než stanovuje přímá aplikace výsledků zkoušek, ale pouze na základě doplňkové velkoformátové zkoušky. I zde je však rozměr limitován a to hodnotou 2500 × 1250 mm nebo průměrem 2500 mm. Problémem je, že zkušebny obvykle nejsou vybaveny odtahovým zařízením, které by bylo schopné u takových velkých průřezů vyvodit dostatečný podtlak.

Prostup požárně dělicí konstrukcí

Prostup potrubí požárně dělicí konstrukcí je nejkritičtějším místem při velkoformátových zkouškách. Většina zkoušek je ukončena pro ztrátu celistvosti zkoušeného potrubí právě v těchto místech, kdy dojde k částečnému průhybu stěn potrubí směrem k jeho ose a k vytvoření měřitelné spáry mezi stěnou pece a požární ucpávkou. To má přímý vliv na kritérium maximálně povolené povrchové teploty na neohřívané straně. Dosažením (resp. překročením) jednoho ze zkušebních kritérií je zkouška ukončena.

Jednou z možností, jak zvýšit odolnost potrubí v tomto kritickém místě, je zvýšení jeho tuhosti. Toho se může dosáhnout kupříkladu tzv. výztuhou. Jedná se o zesilující rozpěrné prvky (např. ocelové trubky) umístěné uvnitř vzduchovodu v místě prostupu potrubí požárně dělicí konstrukcí. Toto vyztužení zabrání zborcení potrubí směrem dovnitř vlivem podtlaku, který je během zkoušky v potrubí udržován. Takto „ošetřený“ prostup pak lépe odolává požárnímu zatížení. Někteří výrobci se toto kritické místo snaží eliminovat využitím vnějších výztuh, které je obvykle tvořeno L-profily kotvenými ke vzduchovodu a do požárně dělicí konstrukce. Tím je mj. zajištěna spolehlivost systému při případném variabilním umísťování požárně dělicích konstrukcí, které jsou vyvolány změnami dispozic během užívání objektu.
Ideální a nejjednodušší je však takové provedení, které žádné zesilující prvky (ať už vnitřní nebo vnější) nepotřebuje. Takto testované systémy jsou nejblíže skutečnému provedení na stavbě, tedy i nejbezpečnější.

Jako perličku je možné uvést i existující příklad, kdy se výrobce nedržel definice zkušebního vzorku uvedeného v ČSN EN 1366-1, potrubí rozdělil na více kratších úseků a prostup požárně dělicí konstrukcí vyztužil dodatečnou přírubou. Toto vyztužení vzduchovodu se samozřejmě v praxi z důvodů finančních a dispozičních nedodržuje, a tedy provedení na stavbě neodpovídá tomu, co bylo zkoušeno. Je s podivem, že si akreditovaná zkušebna dovolí testovat zkušební sestavu, která neodpovídá zkušební normě.

Z uvedených možností se jeví jako velmi oblíbené zhotovení zkušebního potrubí s výztuhou. Zkušenosti z praxe však ukazují, že i když je navržena protipožární izolace, která výztuhu potrubí výslovně předepisuje, tak na konečném díle je takové potrubí bez výztuhy. Tento závažný nedostatek je často dán skutečností, že na stavbě se podílí několik nezávislých subdodavatelů. Výrobci vzduchotechniky velice často nerozlišují, zda bude potrubí opatřeno izolací tepelnou, zvukovou nebo protipožární, případně zda zůstane bez izolace. O použití rozpěrek tudíž neuvažují.

Vynechání výztuží při montáži vzduchotechniky však lze považovat za hrubé porušení technologického postupu předepsaného výrobcem certifikovaného požárně odolného systému. V praxi se pak bohužel stává, že ve zkušebně se vzorek testuje s výztuhou, která se pak ale v reálném potrubí neobjeví. Zde nezbývá než si položit otázku, nač je certifikovaný systém, který díky výztuze dosáhl ve zkušebně požární odolnost 60 minut, když v praxi výztuha nebude a tento systém přestane plnit kritéria zkušební normy např. už po 30 minutách?

Je tedy nutno připomenout povinnost a osobní odpovědnost montážníka požárně bezpečnostních zařízení (mezi něž protipožární izolace spadají), která mu vyplývá z §6 vyhlášky č. 246/2001 Sb., o požární prevenci. Zde se montážníkovi mimo jiné ukládá dodržet postupy stanovené v průvodní dokumentaci výrobce a písemně potvrdit jejich splnění. Je tedy nutno apelovat na montážní firmy provádějící vzduchotechniku, že instalaci výztuh do potrubí (případně doplňujících přírub) podle technických listů dodavatele systému je samozřejmá podmínka. O použití rozpěrek nerozhoduje projektant nebo montér, ale výsledek zkoušky.

Pokud by došlo k požáru a protipožární systém by nefungoval dle plánovaných předpokladů, bude po požární katastrofě hledání odpovědnosti za nedodržení velice snadné – zodpovědnost nese montážní firma, která potrubí příslušným způsobem nevyztužila, a to přesto, že technický list dodavatele systému toto předepisoval. Různé typy vyztužení totiž umožňují dosahovat maximálních hodnot požární odolnosti při minimálních tloušťkách izolace.

Dodávky a montáž rozpěrek či výztužných profilů nemohou zajišťovat izolatérské firmy, neboť v době jejich nástupu na stavbu je vzduchotechnika již většinou smontována a tlakově odzkoušena. Pokud izolatérská firma přebírá dílo bez předepsané výztuhy, je nutno najít a použít pouze takový protipožární systém, který byl bez výztuh testován. V opačném případě nezbývá, než potrubí opět rozebrat a výztuhu doplnit.

ZÁVĚR

Z uvedených praktických zkušeností s protipožárními systémy je patrné, že je třeba vzbudit intenzivnější zájem o tuto problematiku u všech dotčených subjektů (od projektantů, přes stavební dozor až po montážní firmy). Ohrožení majetku a osob v případě požáru je při nedodržení předepsaných požadavků vysoké. Vynecháním výztuh a použitím levnějších závěsných prvků se certifikovaná požární odolnost může snížit i pod 50 % původní odolnosti, která byla ověřena ve zkušebně.

ENERGETICKÁ BILANCE ODPADNÍHO TEPLA Z CHLAZENÍ PRO ODVLHČOVÁNÍ VZDUCHU

Vladimíra Linhartová[1]

[1]České vysoké učení technické v Praze
vladimira.linhartova@fsv.cvut.cz

ANOTACE

V nevytápěných zimních stadionech bez řízeného větrání jsou známé problémy se vznikem mlhy, s kondenzací na povrchu konstrukcí a vznikem krápníků na ledu. V těchto halách je větrání zajišťováno otvory v obvodových stěnách a vnitřní mikroklima je závislé na aktuálním venkovním prostředí. Problémy plynoucí z absence systému odvlhčování vzduchu jsou zřejmé v malých a středních zimních stadionech, v případech nízké světlé výšky haly. V malých zimních stadionech je existence systému odvlhčování vzduchu výjimkou, protože je investičně, ale i provozně nákladné. V případech, kdy je adsorpční odvlhčování instalováno, je provozováno nárazově například tak, že systém je spouštěn jen při sportovních utkáních.

Článek je zaměřen na posouzení možnosti snížení provozních nákladů odvlhčovací jednotky využitím odpadního tepla z chlazení.

Odpadní teplo, které vzniká při strojním chlazení, je na zimních stadionech využíváno nejčastěji k tání ledu ve sněné jámě, k ohřevu vody pro rolbu nebo k temperování podloží. Článek je zaměřen na analýzu využití přebytku z chlazení k ohřevu regeneračního vzduchu pro odvlhčovací jednotku vzhledem k dostupným teplotám a nesoučasnosti odběru a dodávky tepla. Závěrem článku je posouzení dosažitelných úspor a návrh technického řešení zapojení odpadního tepla do systému vzduchotechniky.

ADSORPČNÍ ODVLHČOVÁNÍ

Adsorpční odvlhčovače jsou schopny docílit velmi nízkého rosného bodu vzduchu i v oblasti nízkých teplot jaké jsou na zimních stadionech. Rotor v jednotce je vyroben z pevného desikantu nebo je jím pokryt a otáčí se rychlostí 10 až 30 otáček za minutu. Přenos vlhkosti je zajištěn rozdílem tlaku par na povrchu desikantu a vzduchu, který jím prochází. Protože relativní vlhkost je funkcí tlaku par, směr přenosu vlhkosti může být charakterizován rozdílem mezi relativními vlhkostmi regeneračního a upravovaného vzduchu. Potřebný tlakový rozdíl je zásadní pro účinné využití tohoto typu odvlhčování. Snížení relativní vlhkosti upravovaného vzduchu může být maximálně na úroveň vzduchu na regenerační straně. Desikant odebere vlhkost z upravovaného vzduchu (latentní teplo), ale zároveň mu přidá stejné množství citelného tepla.

POPIS OBJEKTU A CHLADICÍHO SYSTÉMU

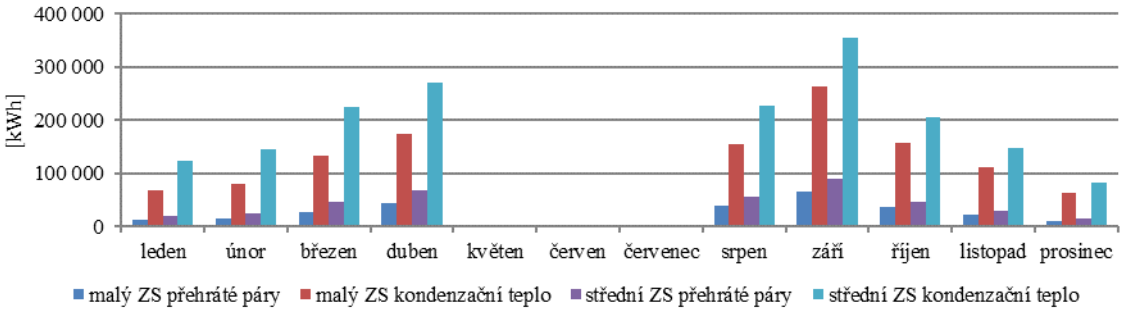
Bilance energií a níže popsaný systém je řešen pro dva typy zimního stadionu, pro střední a malý. Na ledových plochách je uvažována přítomnost ledu od 15. srpna do konce dubna. Plocha ledu je uvažována 1500 m^2. Chladicí kapalinou je čpavek. Ledová plocha je chlazena přímým prouděním chladiva potrubím ve vrstvě betonu pod ledem. Chladicí cyklus byl vymodelován v programu Coolpack a bylo stanoveno množství tepla v přehřátých parách a v kondenzaci. Výpočet množství dostupného tepla z chlazení byl proveden po měsících. Kondenzační teplota byla zvolena s ohledem na proměnnou teplotu vlhkého teploměru venkovního vzduchu.

Prvním hodnoceným je zimní stadion střední velikosti se dvěma ledovými plochami, šatnami přiléhajícími k hlavní ledové ploše a s administrativní budovou. Chladicí systém je tvořen

třemi kompresory o výkonu 2x252 kW a 378 kW (chladicí výkon při teplotách -12/35 °C). Příkon kompresorů je 2x70 a 90 kW. Chladicí stroje jsou v provozu 1975, 2140 a 1660 motohodin za sezónu. Celkové dostupné (výpočetní) množství tepla ve fázi přehřátých par je 397 MWh.rok^{-1} a tepla kondenzačního 1782 MWh.rok^{-1}.

Tento komplex je porovnáván s malým zimním stadionem s jednou ledovou plochou a šatnami. Malý hokejový stadion má dva chladicí stroje o výkonu 252 a 378 kW. Chladicí stroje jsou v provozu 2000 a 1650 motohodin za sezónu. Celkové dostupné (výpočetní) množství tepla přehřátých par je 275 MWh.rok^{-1} a tepla kondenzačního 1230 MWh.rok^{-1}.

Z úhrnu odváděného tepla tvoří vysokoteplotní teplo přehřátých par 18 %. Kondenzační teplo není mařeno prostřednictvím odpařovacího kondenzátoru do venkovního prostředí, ale je pomocí tepelných čerpadel dále využíváno.



Obr. 1 *Graf množství odpadního tepla z chlazení.*

POPIS REŽIMU VĚTRÁNÍ A ODVLHČOVÁNÍ

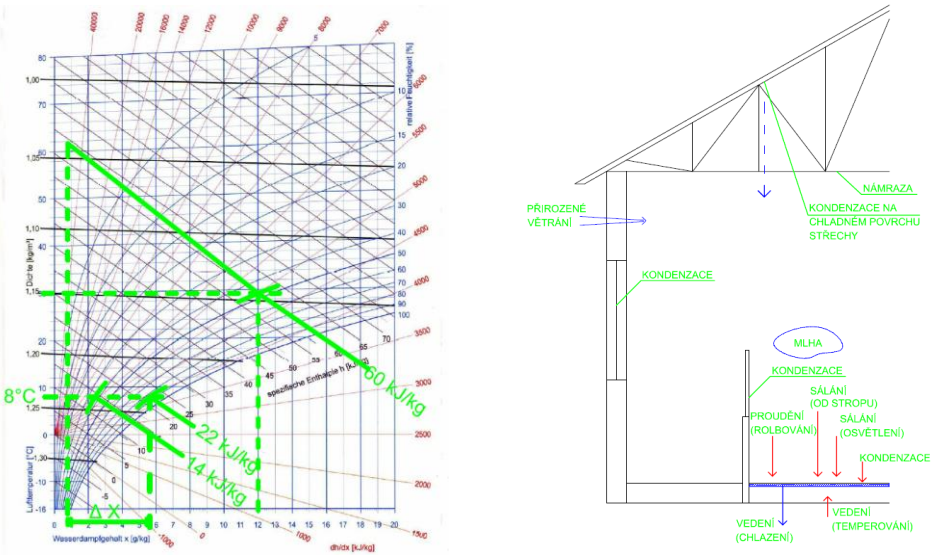
Základním úkolem vzduchotechniky je odvést tepelnou zátěž, zajistit hygienické množství vzduchu, ustálenou teplotu a proudění vzduchu nad ledovou plochou, ochranu konstrukcí před rosením, které může být způsobeno studeným sáláním na ledovou plochu.

Celková tepelná zátěž na ledovou plochu je součtem zátěže od vzdušné vlhkosti, konvekce tepla, rolbování a osvětlení. Teplota vlhkého teploměru vzduchu nad ledem má vliv na tepelnou zátěž a měla by být při výpočtu zohledněna. Snížením teploty vlhkého teploměru odvlhčením se návrhová tepelná zátěž na ledovou plochu sníží. Pokud není odvlhčování v provozu, ledová plocha přeměňuje vlhkost ze vzduchu na vlhkost na chladných konstrukcích nebo námrazu na ledu. Ledová plocha vzduch ochlazuje i odvlhčuje kondenzací vodních par. [2]

Požadovaná teplota rosného bodu vzduchu je max. 4 °C, na stadionech NHL dokonce 1,7 °C. [3]

V závislosti na požadované nízké vlhkosti vzduchu a použitém desikačním materiálu se teplota regeneračního vzduchu pohybuje od 80 do 140 °C. Regenerační vzduch bude ohříván ve dvou stupních. Prvním stupeň předehřevu bude zajištěn teplem přehřátých par chladicího systému na teplotu 50 °C. Konečný dohřev vzduchu bude elektrickým nebo plynovým ohřívačem v odvlhčovací jednotce. V článku jsou porovnány dvě teplotní úrovně regeneračního vzduchu, 85 a 120 °C.

V návrhu VZT jednotek je zohledněno, že každá hala zimního stadionu má jiný charakter provozu a proto potrubí přiváděného a odváděného vzduchu není propojeno, ale umožňuje regulaci každé haly samostatně.



Obr. 2 *h-x diagram adsorpčního odvlhčování a řez halou ZS.*

Navržený objem přiváděného vzduchu do hlavní haly areálu střední velikosti je 10 000 $m^3.h^{-1}$ přičemž množství regeneračního vzduchu je 2000 $m^3.h^{-1}$. Objem přiváděného vzduchu do tréninkové haly 7500 $m^3.h^{-1}$, objem regeneračního vzduchu je 1500 $m^3.h^{-1}$. Odvlhčování bude v provozu 10 hodin denně v rozmezí od 7 do 22 hodin, v tréninkové hale, kde je menší vytížení, je navrženo odvlhčování po 6 hodin denně. Odvlhčování v malém zimním stadionu je ve stejném režimu jako hlavní hala středního.

V období, kdy není odvlhčování v provozu, je využívána pouze vzduchotechnická jednotka s rekuperačním výměníkem a ohřívačem.

FUNKCE SYSTÉMU A REGULACE

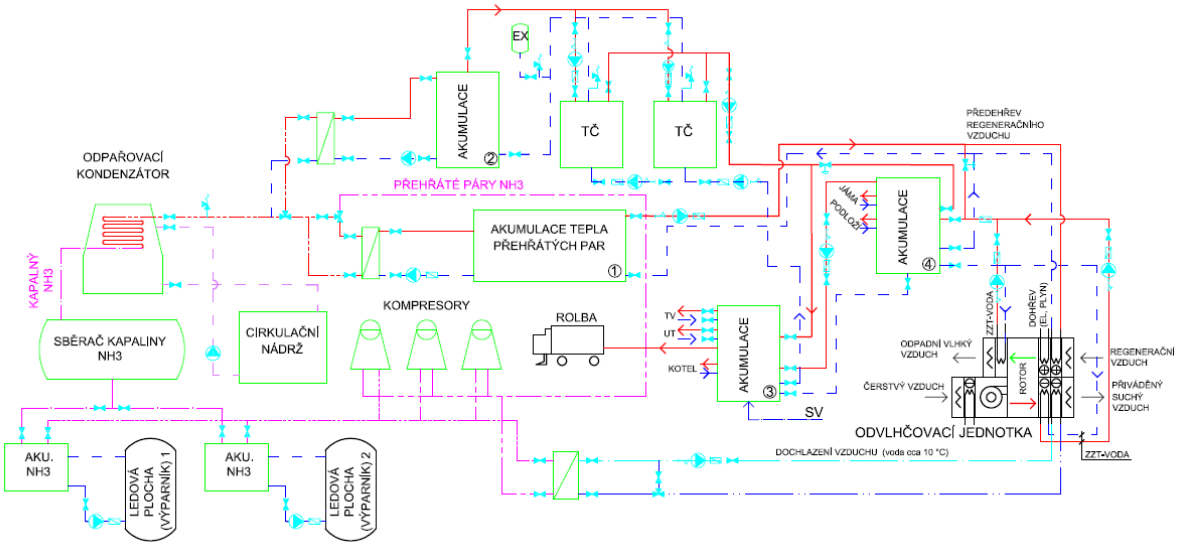
Teplo přehřátých par je akumulováno v zásobníku označeném ve schématu na obrázku 3 číslem 1. Voda o teplotě až 60 °C bude využita pro předehřev regeneračního vzduchu. Pokud odvlhčování není v provozu, je voda distribuována do akumulačního zásobníku č. 4. Tento zásobník slouží také pro ukládání energie ze zpětného získávání tepla z výměníků soužících pro ochlazování regeneračního vzduchu před odvodem do venkovního prostředí a také z ochlazování vzduchu před distribucí do haly. Dochlazení přívodního vzduchu je zajištěno chladicí vodou přes výměník čpavek/ voda z chladicích strojů. Teplo ze zásobníku č. 4 lze využít k odtávání ledové tříště ve sněžné jámě nebo k temperování podloží. Tito spotřebitelé tepla jsou v provozu vždy ve stejném období jako chladicí systém.

Voda ohřívaná kondenzačním teplem je akumulována v samostatném vyrovnávacím zásobníku (č. 2), který je umístěný před tepelnými čerpadly voda-voda. Tepelnými čerpadly je voda ohřívána na teplotu 60°C a uložena ve vysokoteplotním zásobníku (č. 3) ze kterého je využita pro vytápění, přípravu teplé vody a k ohřevu technologické vody pro rolbu. V období, kdy chladicí systém není v provozu, ale je potřeba tepla na vytápění nebo ohřev TV, je na vysokoteplotní zásobník napojen plynový kotel. V případě nedostatečné teploty v nízkoteplotním zásobníku je umožněn dohřev tepelným čerpadlem.

Regulace odvlhčovací jednotky bude v závislosti na teplotě rosného bodu vzduchu měřené čidlem v potrubí odváděného vzduchu. Jednotka bude spínat při teplotě rosného bodu vyšší než 4 °C. Před vstupem upravovaného vzduchu do jednotky je pro zvýšení účinnosti

odvlhčování ochlazen. Před distribucí do haly je vzduch ochlazen, aby bylo zamezeno distribuci příliš teplého vzduchu do haly.

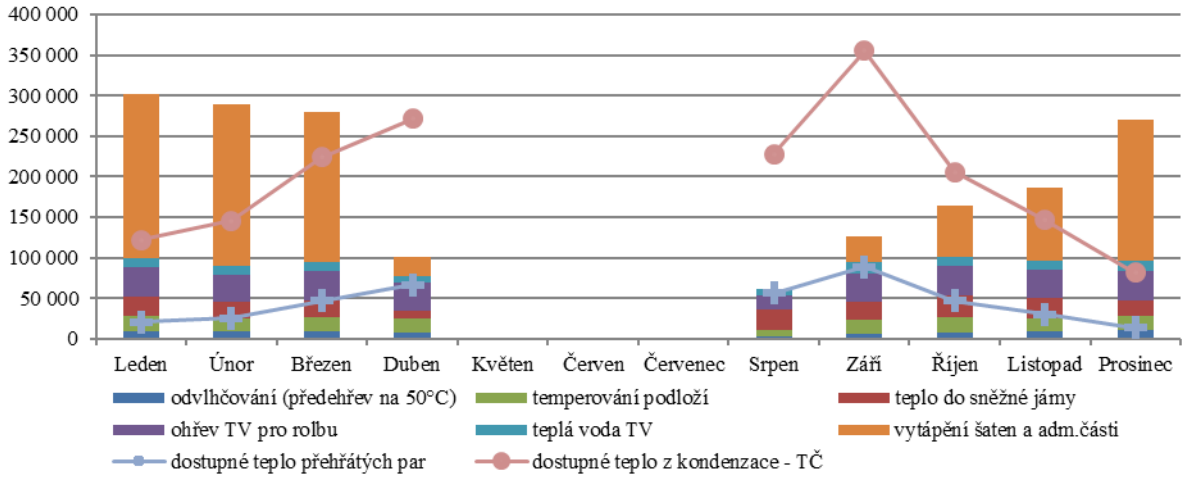
Objem akumulačních zásobníků a výkon tepelných čerpadel by měl být proveden s ohledem k současnosti provozu chladicích kompresorů a VZT systému a výkonu chladicích strojů.



Obr. 3 *Schéma zapojení zdrojů chladu, tepla a vzduchotechnických jednotek.*

BILANCE ENERGIÍ

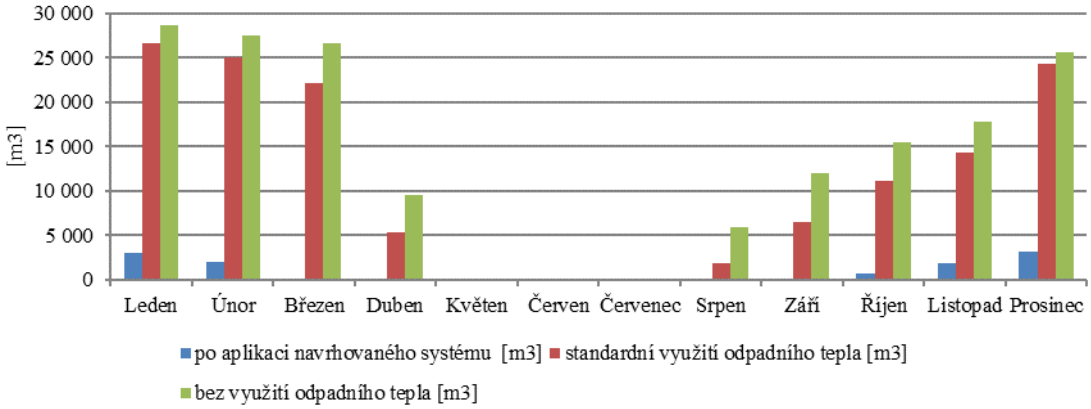
Bilance energií byla provedena v jednotlivých měsících v průběhu jednoho roku. Pro referenční venkovní teploty vzduchu byly použity údaje z města Čáslavi s hodinovým intervalem. Na obrázku 4 jsou uvedeny spotřeby energií, které lze pokrýt odpadním teplem a také výpočetní množství tepla z chlazení. V bilanci není zohledněno zpětné získávání tepla z ochlazování odváděného vzduchu.



Obr. 4 *Potřeby energií na středně velkém zimním stadionu a dostupné množství tepla z chlazení.*

V grafu na obrázku 5 je spotřeba plynu středního zimního stadionu ve třech variantách využití odpadního tepla. Ve výpočtu jsou uvažovány spotřeby stejné jako na obrázku 4.

- Bez využití odpadního tepla z chlazení.
- Standardní řešení využití odpadního tepla přehřátých par pro odtávání ledu ve sněžné jámě a pro ohřev technologické vody pro rolbu.
- Navrhovaný systém využití jak tepla přehřátých par tak i kondenzačního.



Obr. 5 *Diagram spotřeby plynu v ZS pro tři výše popsané varianty.*

ZÁVĚR

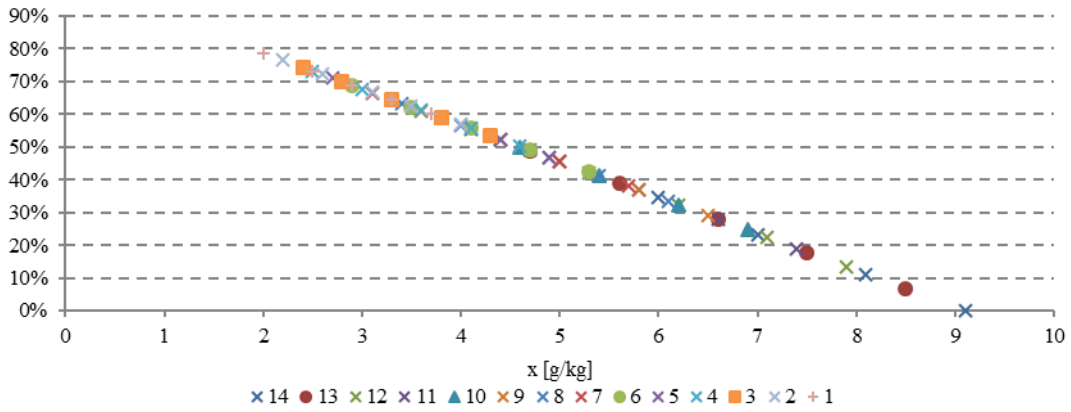
Dosažitelné energetické úspory na ohřevu regeneračního vzduchu pro adsorpční odvlhčování v případě ohřevu vzduchu na 85 °C:

- Na středním zimním stadionu až 50 %.
- Na malém zimním stadionu až 54 %.

V případě ohřevu regeneračního vzduchu na 120 °C:

- Na středním zimním stadionu až 35 %.
- Na malém zimním stadionu až 37 %.

V grafu na obrázku 6 je znázorněno procentuální snížení tepelné zátěže od vzdušné vlhkosti na ledovou plochu. Povrchová teplota ledu je uvažována -5 °C. Graf znázorňuje snížení zátěže v závislosti na teplotě suchého teploměru vzduchu a měrné vlhkosti. Porovnání je provedeno s referenčním stavem vzduchu o teplotě suchého teploměru 14 °C, relativní vlhkosti 90 % a měrné vlhkosti 9,1 g/kg.



Obr. 6 *Procentuální redukce tepelné zátěže od vzdušné vlhkosti na ledovou plochu.*

Vedle energetických úspor na chlazení ledové plochy má odvlhčování vliv také na kvalitu interního mikroklima haly zimního stadionu a zamezuje degradaci stavebních konstrukcí od nadměrné vlhkosti.

LITERATURA

[1] ANDRES, P. *Zimní stadiony z hlediska odvodu vlhkosti.* Větrání vytápění instalace, 4/ 2007.

[2] Engineers Newsletter. *Advances in Desiccant-Based Dehumidification.* Trane. Volume 34-4, 2005.

[3] International Ice Hockey Federation. *IIHF Ice Rink Guide.* [online] Dostupné z: http://www.iihf.com/fileadmin/user_upload/PDF/Rink_Guide/IIHF_Ice_Rink_Guide_web_pdf.pdf

[4] Firemní podklady. Flair, a.s.

[5] Program Coolpack. Department of Energy Engineering. Technical University in Denmark.

Tento článek vznikl za podpory studentského grantu SGS ČVUT.

PROVOZ CHLADICÍCH ZAŘÍZENÍ PRO KLIMATIZACI BUDOV S OHLEDEM NA DOSAŽENÍ MAXIMÁLNÍHO CELKOVÉHO CHLADÍCÍHO FAKTORU

Ing. Karel Matějíček

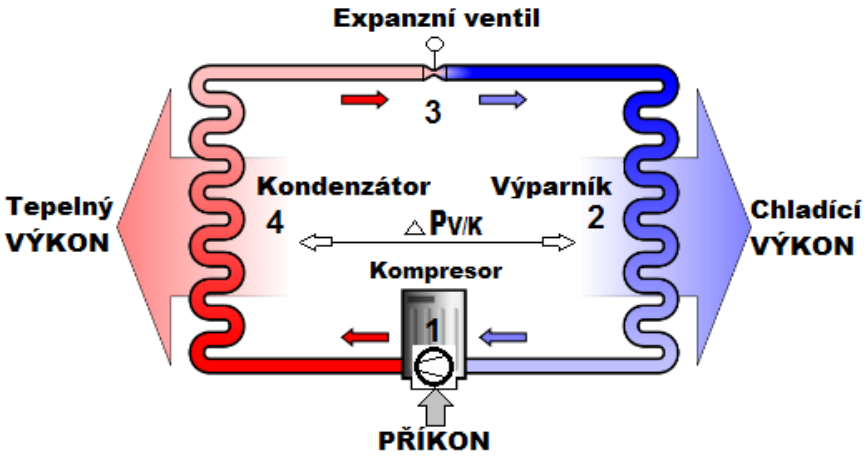
karel@ingmatejicek.cz

ABSTRAKT

Příspěvek pojednává o různých systémech distribuce chladu po budově pro klimatizační zařízení v objektech a jejich vliv na chladící faktor zdroje chladu. Nabízí možná řešení, při kterých je minimalizována celková energetická náročnost na výrobu a distribuci chladu pro klimatizaci v budovách.

ÚVOD

Stále častěji se setkáváme s budovami, u kterých v celoroční bilanci převažuje spotřeba chladu nad spotřebou tepla. Je značná část budov, jejichž fasády jsou z velké části prosklené, vybavené množstvím technologických zařízení s tepelnými zisky, obsazované značným množství lidí, kteří jsou sami zdrojem tepla, a navíc je nutné pro ně zajistit dostatečné množství čerstvého vzduchu o požadované teplotě. To vše zvyšuje nároky na spotřebu energií, které je nutné vynakládat na výrobu a distribuci chladu pro zajištění požadovaného mikroklima v budovách. Jako zdroj chladu se nejčastěji používají kompresorové chladící stroje.



Obr. 1 *Okruh kompresorového chladícího stroje*

Celkovou spotřebu energie vynaloženou v klimatizovaných budovách na chlazení je možné rozdělit na dvě základní oblasti

a) Spotřeba elektrické energie vlastního chladícího stroje

Tato spotřeba se vyjadřuje pomocí „Chladícího faktoru“. Chladící faktor EER (Energy Efficiency Ratio – česky koeficient energetické efektivnosti) je bezrozměrné číslo a vyjadřuje poměr chladicího výkonu a elektrické energie (příkon) vydané na dosažení tohoto výkonu za určitých teplotních podmínek. Hodnota EER se běžně pohybovala mezi hodnotami 2,0 až 4,0. V současné době je možné docílit i hodnoty dvojnásobné. Čím je tento koeficient vyšší, tím nižší jsou náklady na chlazení a tím je efektivnější i celý systém klimatizace.

- Chladicí faktor chladicího zařízení EER

$$EER = \frac{\text{Chladící VÝKON}}{\text{PŘÍKON}}$$

Požadavek na projektanty a provozovatele chladícího zařízení musí být:

- „PROVOZOVAT CHLADÍCÍ ZAŘÍZENÍ V OBLASTI MAXIMÁLNÍHO CHLADÍCÍHO FAKTORU“

b) Spotřeba pomocné energie pro pohon čerpadel a ventilátorů, které zajišťují distribuci chladu v budově.

- Spotřeba pro pohon čerpadel systémů okruhů chlazené vody. Řešení
  - regulace na „OTEVŘENÝ VENTIL“
- Spotřeba vlastních vzduchotechnických zařízení – je nutno realizovat:
  - „OPTIMALIZACI PROVOZU KLIMATIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ“

PROVOZNÍ STAVY CHLADÍCÍCH ZAŘÍZENÍ

Každý výrobce dodává s chladícím zařízení tabulku doporučených provozních stavů daného chladícího zařízení, ze které je možné vyčíst, jakým způsobem je vhodné daný chladící stroj provozovat s cílem dosahovat MAXIMÁLNÍ CHLADÍCÍ FAKTOR. Je vhodné si nechat od výrobce propočítat provozní stavy i pro jiné než základní provozní parametry. Např. pro teplotu chlazené vody vystupující z výparníku v rozsahu od 6 °C do 12 °C, pro teplotu chladící vody vstupující do kondenzátoru od 16 °C do 28 °C. Tomu odpovídají vždy doporučené příslušné průtoky chlazené a chladící vody. Tyto tabulky je vhodné důkladně prostudovat a následně jak projekt, tak realizace celého díla a budoucí provoz se musí podřídit podmínkám provozních stavů s maximálním chladícím faktorem.

Tab. 1 *Příklad běžných provozních stavů chladícího zařízení se šroubovým kompresorem a frekvenčním měničem pro pohon kompresoru*

Chladící výkon		Výparník				Kondenzátor				Příkon	Chladící faktor
		Teplota Vstup	Teplota Výstup	Průtok	Tlaková ztráta	Teplota Vstup	Teplota Výstup	Průtok	Tlaková ztráta	kW	EER
%	kW	°C	°C	l/s	kPa	°C	°C	l/s	kPa		
100	931,8	12	6	37,1	73,8	28	34	42,4	21,5	154,8	6,03
80	745,5	12	6	29,6	46,3	28	32,8	42,4	21,7	115,1	6,47
60	559,1	12	6	22,2	27,3	28	31,6	42,4	21,7	83,6	6,69
40	372,7	11,2	6	17	17,5	28	30,4	42,4	21,8	61,1	6,09
20	186,4	8,6	6	17	17,5	28	29.3	42.4	21,8	38,8	4,81

Výběr z jiných provozních stavů stejného chladícího zařízení se šroubovým kompresorem

20	200	8,6	6	18,3	19	**18**	19,3	42,4		20	**10**

(pro chladící vodu 18 °C)

V provozu bylo ověřeno, že i provozní stav s EER= cca10 je reálný a dlouhodobě dosažitelný.

ZÁSADY PROVOZU V OBLASTI MAXIMÁLNÍHO CHLADÍCÍHO FAKTORU

Pro zajištění provozu chladících strojů s maximálním chladícím faktorem se musí přehodnotit stávající kritéria pro návrh a provoz celého chladicího systému. V současné době je ve většině případů navržen a dodán „nějaký" chladící stroj (někdy dokonce rozhoduje jen pořizovací cena), pro který jsou požadovány pouze parametry stavů a výkonů pro maximální tepelnou zátěž soustavy. Hlavní důraz bývá kladen na hydraulický návrh a stabilitu soustavy rozvodů chlazené a chladící vody s tím že, „chladící stroj si s tím musí poradit". Toto je zásadně chybně. Jako první se musí řešit hydraulika a parametry potřebné pro zajištění optimálního chodu chladícího stroje a následně těmto podmínkám se musí přizpůsobit celý systém regulace rozvodů chlazené a chladící vody.

Základní podmínky pro jednotlivé dílčí části chladícího stroje, které se musí dodržovat pro max. provozní EER jsou

- Výparník
  - Zajištění požadovaného optimálního průtoku chlazené vody výparníkem – nutno měřit a následně regulovat řízením otáček čerpadla
  - Regulovat (přestavovat žádanou) výstupní teplotu chlazené vody dle požadavku provozu
    - žádaná teplota chlazené vody je přestavována na hodnotu dle „požadavku na chlazení" z jednotlivých provozních celků provozu. Např. požadovaná teplota 6 °C chlazené vody (pro výpočtové parametry) může mít po značnou část roku i hodnotu až do 12°C. Požadavek na 6 °C je pro výpočtové letní parametry. Není ve většině případů žádný důvod tuto hodnotu udržovat po celý rok – je to v podstatě ekvivalent teplotní ekvitermy, která je běžně využívána pro systémy ústřední vytápění.
  - Dodržení min. požadovaného teplotního spádu mezi teplotou chlazené vody vstupující a vystupující z výparníku. Po poklesu na tuto min. teplotní diferenci chladící stroj odstavit. Většina chladících strojů má možnost tuto hodnotu nastavit do vnitřních parametrů stroje. Aby toto bylo možné a nedocházelo po krátkém čase k opětovnému požadavku na chod chladícího stroje, je nutno v systému rozvodů chlazené vody realizovat řízenou akumulací chlazené vody. A to hlavně do rozvodů chlazené vody, event. do navíc instalované akumulační nádrže. Takže další podmínka je:
  - Akumulace chladu do rozvodů chladu a vypínání chladícího zařízení při dosažení stanovené min. teplotní diference přívodní a vratné chlazené vody dané požadovanou hodnotou chladícího faktoru.
- Kondenzátor
  - Zajištění požadovaného optimálního průtoku kondenzátorem
  - Regulace teploty chladící vody vstupující do kondenzátoru „Na optimální diferenční tlak mezi výparníkem a kondenzátorem ΔPv/k" – tuto hodnotu udává výrobce v technických podmínkách stroje. Je snaha, aby tato diference (stlačení provozního plynu kompresorem) byla co nejmenší. Na druhé straně tato diference zajišťuje proudění dalších medií v okruhu – např. mazacího oleje

Pro chladící kompresor, u kterého jsou výše uvedeny provozní stavy, byl požadavek výrobce regulovat teplotu vstupující chladící vody do kondenzátoru tak, aby hodnota tlakové diference byla 180 kPa (ΔPv/k=180 kPa). Tato tlaková diference mezi výparníkem a kondenzátorem ΔPv/k je ve většině chladících zařízení k dispozici jako analogová výstupní hodnota AO z výstupu řídicího systému chladícího stroje. U starších strojů je to hodnota, která je vypočítávána z teplot výparníku a kondenzátoru. U novějších chladících strojů je tato hodnota měřena přímo snímači tlaku. Pokud tato hodnota není k dispozici, je možné pro regulaci teploty vstupující chladící vody do kondenzátoru použít teplotní diferenci mezi výstupní teplotou chlazené vody a vstupní teplotou chladící vody. Např. při požadavku teplotní diference 14 °C (většina výrobců má požadavek na tuto teplotní diferenci od 12°C do 14°C), regulujeme při výstupní teplotě chlazené vody 6 °C vstupní teplotu chladící vody do kondenzátoru na hodnotu 20 °C. (např. při teplotním spádu na výparníku 12/6 °C, bude teplotní spád na kondenzátoru 18/22 °C)

- Chladící věže
  - Regulace teploty chladící vody v chladicích věžích řízením otáček ventilátorů dle požadavku řídicího systému chladícího stroje na „Optimální tlakovou diferenci ΔPv/k“, event. na požadovanou vstupní teplotu chladící vody do kondenzátoru
  - Pokud je víc jak jedna chladící věž, propojit vany těchto věží potrubím a provozovat trvale všechny věže současně. Sníží se tak spotřeba surové vody na odpar a odluh. Zvětší se tak podíl ochlazené vody přestupem s menším odparem.
  - Při „přestávce“ chladícího stroje „doběhem“ zchladit „věžovou vodu“ na hodnotu teploty menší než požadovanou vstupní teplotu chladící vody do kondenzátoru, event. dle entalpie venkovního vzduchu se stojícími ventilátory - s minimálním odparem.

Základní provozní podmínky pro systémy rozvodů chlazené vody a jejich alternativy s dopadem na celkovou spotřebu el. energie

- Regulace otáček na „Otevřený ventil“ – úspora el. energie.

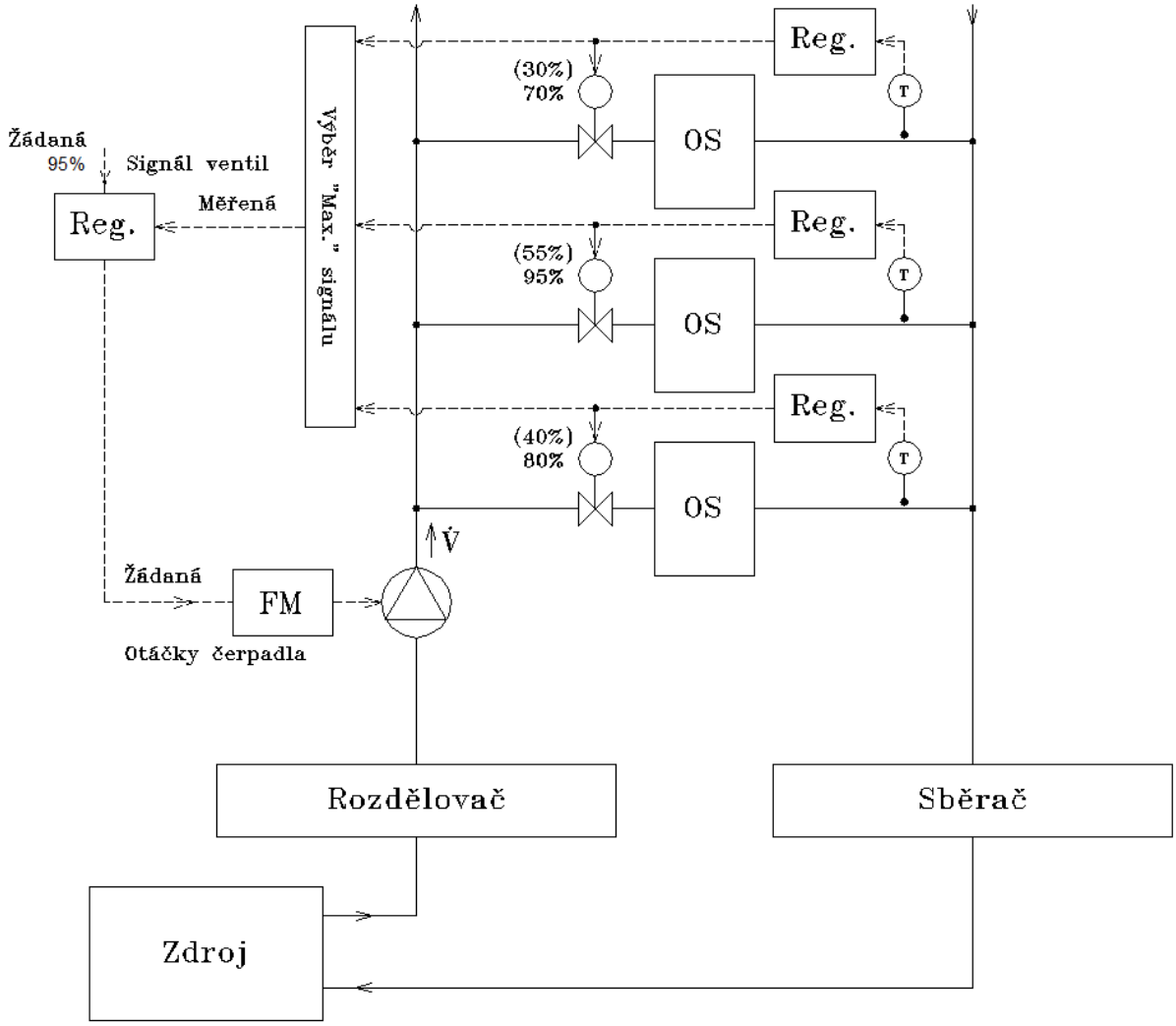
Otáčky čerpadla jsou přestavovány na takovou hodnotu, aby vždy aspoň jeden ventil byl v poloze „OTEVŘENO“ se signálem 95 %. Pokud by byl ventil otevřen např. na 50 %, má čerpadlo zbytečně veliký diferenční tlak, pokud by byl ventil otevřen na 100%, není možné z tohoto signálu zjistit, zda není diferenční tlak malý. Pokud je v soustavě více regulačních ventilů, signál pro jejich otevření se softwarově zavede do modulu pro výběr maxima, z kterého dál vystupuje signál s největším požadavkem a dle toho se regulují otáčky čerpadla. Pokud se regulují otáčky čerpadla na požadovaný diferenční tlak dle požadavku projektanta, jsou po většinu roku regulační ventily značně přivřeny a čerpadlo vykonává práci, která je pak na regulačních ventilech mařena - celý výpočet soustavy je počítán na výpočtové parametry, které jsou jen několik dnů v roce. Výhod tohoto systému:

NEDOCHÁZÍ K MAŘENÍ čerpací práci čerpadla škrcením na regulačních ventilech.

MINIMÁLNÍ ČERPACÍ PRÁCE ZAJISTÍ požadovaný průtok regulačními ventily.

SYSTÉM REGULACE ELIMINUJE drobné nedostatky v systému rozvodů.

Podmínka: NUTNÁ komunikace mezi regulátory teploty a regulátorem čerpadla.



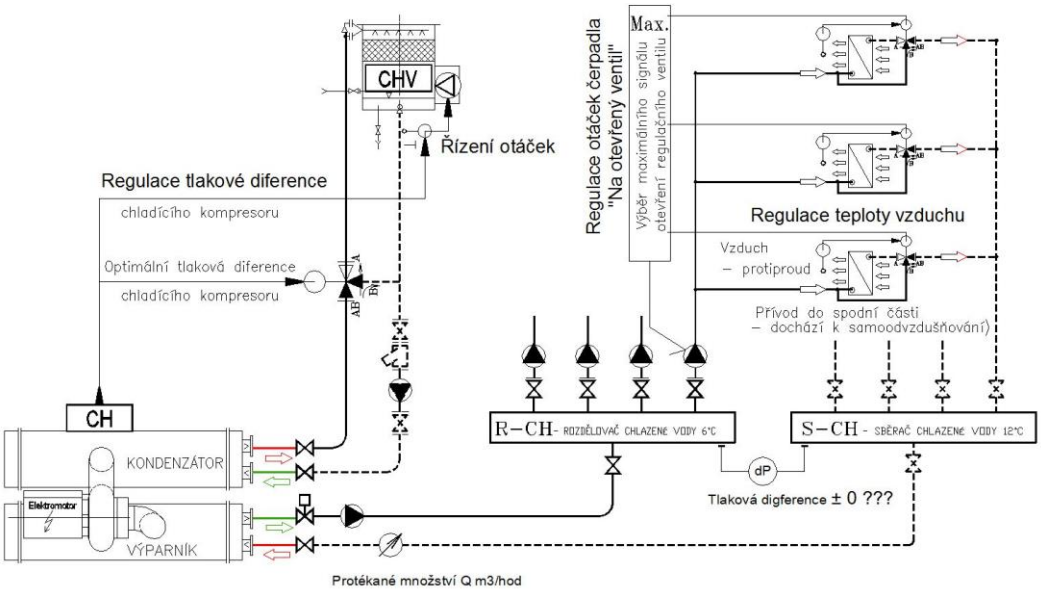
Obr. 2 *Regulace otáček na „OTEVŘENÝ VENTIL"*

Základní provozní podmínky pro systémy rozvodů chlazené vody a jejich alternativy s dopadem na hodnotu chladícího faktoru

- Rozvody chlazené vody s trojcestnými regulačními ventily u spotřeby (např. u chladičů VZT zařízení)

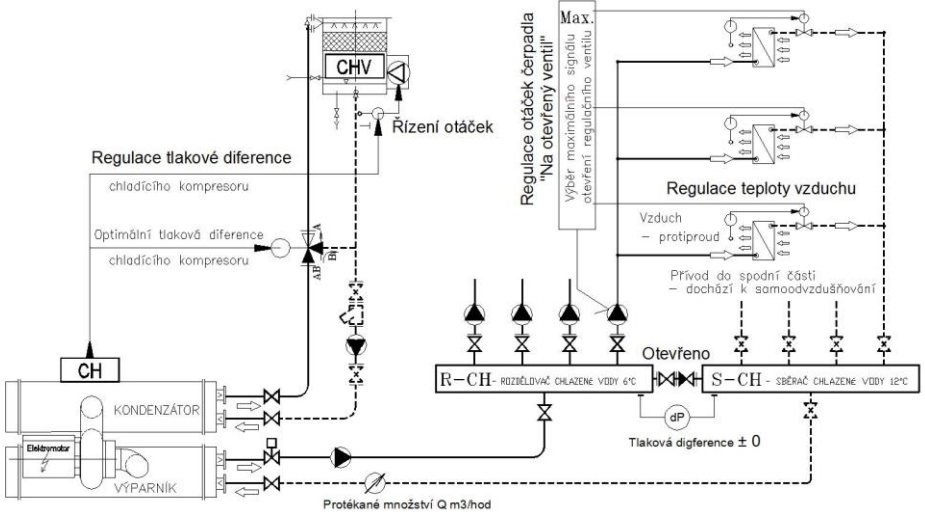
  Tento systém zajišťuje konstantní průtočné množství chlazené vody v hlavních okruzích chladu. Hojně se používal v minulém století, kdy byl problém regulovat množství vody dopravované čerpadly a byl požadavek na konstantní průtok chlazené vody výparníky. Tento systém má tři základní nedostatky:

  - Celý rozvodný systém chlazené vody musí být navržen na průtočné množství se současností 100 %, vč. protékajícího množství vody výparníkem.
  - Nadměrná spotřeba energie na čerpací práci.
  - Ze systému rozvodů chlazené vody „se vrací studená zpátečka", která velmi negativně ovlivňuje hodnotu chladícího faktoru stroje



Obr. 3 *Rozvody chlazené vody s trojcestnými regulačními ventily u spotřeby*

- Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily u spotřeby a s propojovacím potrubím mezi rozdělovačem a sběračem. Ve většině případů i s vloženou zpětnou klapkou v tomto propojovacím potrubí.
  Tento systém zajišťuje konstantní průtočné množství chlazené vody výparníkem. Propojení svou funkcí zajišťuje po většinu provozní doby nulovou tlakovou diferenci mezi sběračem a rozdělovačem, takže ve většině případů nedochází k tlakovému ovlivňování čerpadel jednotlivých větví. Tento systém se dost používá i v současné době. Má dva základní nedostatky:
  - Po většinu provozní doby je nízká teplota zpátečky – negativní vliv na chladící faktor.
  - Malý objem chlazené vody pro akumulaci vyrobeného chladu. Při malé spotřebě se zařízení provozuje buď na velmi malý teplotní spád výparníku, s velmi nízkým chladícím faktorem nebo nastává problém s četností odstavování chladícího stroje - většina výrobců udává max. počet startů v hodině, event. požadovanou prodlevu mezi vypnutím a startem. V mnoha případech udává podmínky obě.

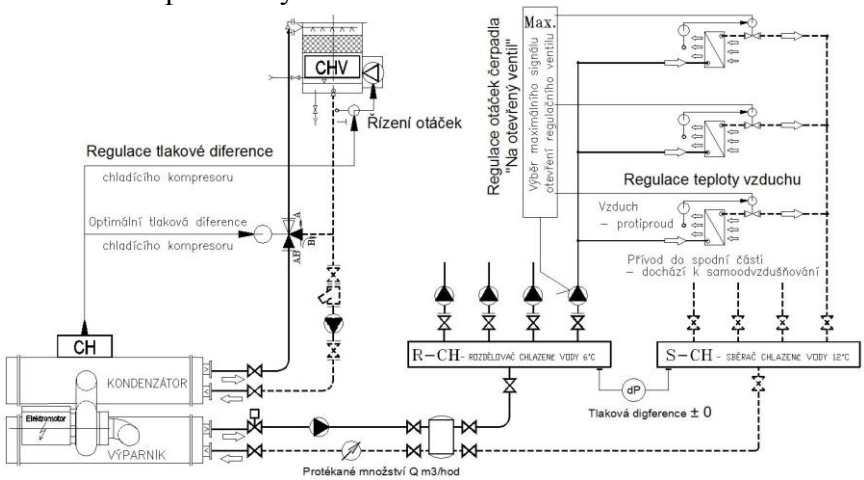


Obr. 4 *Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily u spotřeby a propojovací potrubí mezi rozdělovačem a sběračem*

- Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily u spotřeby a s termohydraulickým rozdělovačem.

Tento systém zajišťuje vyrovnané tlakové poměry mezi zdrojem chladu a rozvody chlazené vody za všech stavů. Na druhé straně degraduje teplotní parametry v obou vystupujících připojených větvích. Termohydraulický rozdělovač v podstatě nahrazuje řídicí systém regulace průtoků a diferenčních tlaků systému za cenu zbytečně vložené čerpací práce a degradace obou vystupujících teplot. Systém s termohydraulickým rozdělovačem je nejméně efektivní systém ze všech uváděných systémů a je nevhodné ho instalovat k moderním zdrojům chladu i tepla. Jeho náhrada i velmi jednoduchou regulací, přináší okamžité provozní úspory v řádu procent až desítky procent provozních výdajů. Základní nedostatky:

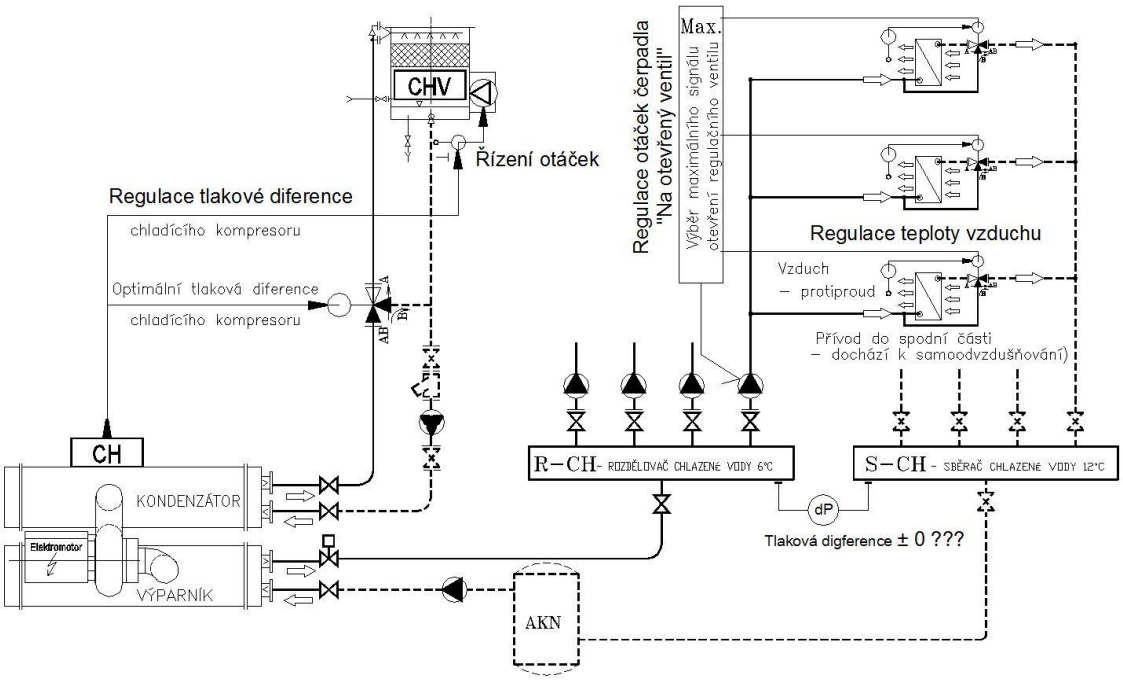
- Po většinu provozní doby degraduje vlivem rozdílných množství průtoků zdrojem a soustavou a svou vlastní konstrukcí, jak výstupní teplotu ze zdroje chladu (za rozdělovačem), tak teplotu vratné vody do zdroje chladu (za rozdělovačem). Je-li výstupní teplota z chladícího stroje např. 6 °C, bývá teplota chladící vody do soustavy rozvodů vždy větší jak 6°C. V mnoha případech i 9 °C, a více. Pokud mi tato teplota 9 °C bude dostačovat pro běžný provoz mimo „letní špičku“, mohu provozovat chladící stroj s požadavkem na výstupní teplotu 9 °C a je okamžitě podstatně větší chladící faktor stroje. Stejné to je i s teplotou zpátečky, která bude např. 12 °C ze soustavy, ale do stroje se bude vracet po většinu času podstatně chladnější, např. i 7 °C.
- Po většinu provozní doby dochází k maření čerpací práce jak čerpadel na zdroji, tak čerpadel v soustavě rozvodů chlazené vody. V několika případech jsem upravoval systémy s termohydraulickým rozdělovačem, kdy se provoz snažil řídit otáčky čerpadel na zdroji, event. v systému pomocí měření teplot všech čtyř větví a porovnáváním jejich diferencí. Měli na to realizované velmi složité výpočetní algoritmy, a přesto jediné spolehlivé řešení jejich provozních problémů bylo odstavení termohydraulického rozdělovač (stačí uzavření dvou stejných větví a jejich překlenutí propojkou) a realizace jednoduché regulace na nulovou tlakovou diferenci s instalací jednoho propojovacího regulačního okruhu ve zkratu.
- Malý objem chlazené vody pro akumulaci vyrobeného chladu. Při malé spotřebě se zařízení provozuje buď na velmi malý teplotní spád výparníku s velmi nízkým chladícím faktorem, nebo je problém s četností odstavování chladícího stroje - většina výrobců udává max. počet startů v hodině, event. požadovanou prodlevu mezi vypnutím a startem. V mnoha případech udává podmínky obě.



Obr. 5 *Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily u spotřeby a termohydraulickým rozdělovačem – nejméně vhodná varianta*

- Rozvody chlazené vody s trojcestnými regulačními ventily u spotřeby a akumulační nádobou ve vratné větvi – následky tohoto řešení.

  Tento systém zajišťuje konstantní průtočné množství chlazené vody v hlavních okruzích chladu – viz první popisovaný okruh tohoto článku. Navíc má nainstalovanou akumulační nádobu ve vratné větvi. Představa byla taková, že trojcestné regulační ventily u VZT zařízení přepouštěním vychlazené vody do zpátečky naakumulují tuto oteplenou z části vychlazenou vodu do akumulační nádrže pro období klidu chladícího stroje. Problém je, že naakumulovaná vychlazená voda nemá provozní parametry teploty výstupní vody a při odstávce stroje dojde ve velmi krátké době k chlazení ve VZT zařízení chlazenou teplejší vodou o teplotě zpátečky. Tento problém jsem řešil, když jsem byl požádán o zjištění příčiny problému v jedné nemocnici, kde v letním období vždy několikrát denně docházelo v operačních sálech k orosení stěn těchto sálů. Z vizualizace trendu vlhkosti v operačních sálech bylo zjištěno, že při venkovních teplotách nad 30 °C došlo vždy na relativně krátký čas k nárůstu relativní vnitřní vlhkosti z 60% na 95% a zpět poklesu na 60%. Když se tento průběh porovnal s průběhem chodu chladícího stroje, byl jednoznačné, že k nárůstu relativní prostorové vlhkosti došlo vždy při provozní odstávce zdroje chladu (bylo vychlazeno). Po hlubší analýze bylo zjištěno, že příčinou je vyšší teplota chlazené vody naakumulované zpátečky v akumulační nádobě. Řešení bylo změna zapojení rozvodů. Akumulační nádrž umístit za výstup zdroje, zaslepit třetí cesty regulačních ventilů u VZT zařízení a nainstalovat dva přepouštěcí regulační okruhy na koncích stávajících větví.



Obr. 6 *Rozvody chlazené vody s trojcestnými regulačními ventily u spotřeby a akumulační nádrží ve zpátečce*

- Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily u spotřeby a regulovaným přepouštěním na koncích větví.

  Tento systém zajišťuje prioritně podmínky pro chladící stroj a následně pro rozvod chlazené vody.

Výparník

- Regulace min. průtoku.
- Regulace výstupní teploty chlazené vody dle požadavku provozu.
- Dodržení min. požadovaného teplotního spádu.
- Akumulace chladu do rozvodů chladu

Kondenzátor

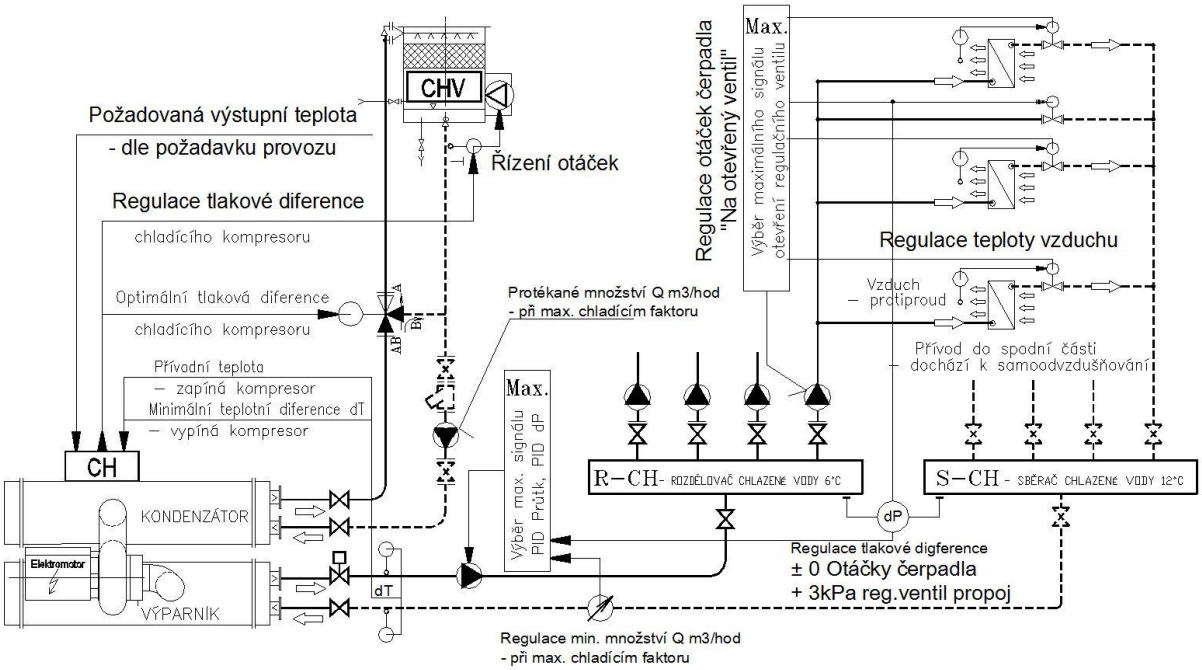
- Zajištění požadovaného optimálního průtoku kondenzátorem
- Regulace teploty chladící vody vstupující do kondenzátoru dle ΔPv/k“

Chladící věže

- Regulace teploty chladící vody v chladicích věžích řízením otáček dle ΔPv/k.

Rozvody

- Regulace na „Otevřený ventil.
- Regulace ΔP Rozdělovač/Sběrač = ±0
- Regulace přepouštěním na koncích větví pro:
  - Zajištění min průtoku výparníkem: ΔP Rozdělovač/Sběrač = 3kPa
  - Naakumulování vyrobeného chladu do zpátečky

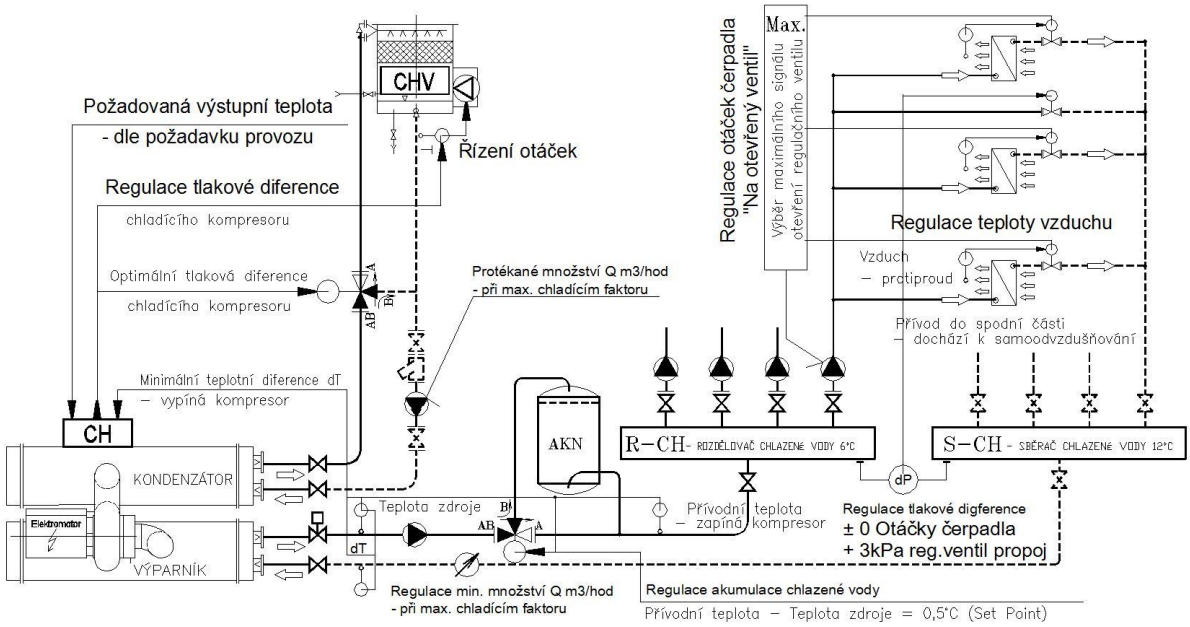


Obr. 7 *Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily a regulovaným přepouštěním na koncích větví*

- Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily u spotřeby, regulovaným přepouštěním na koncích větví a akumulační nádrží v přívodní větvi.

  Pokud je předpoklad, že minimální chladící výkon zdroje bude při určitých provozních stavech větší jak požadovaná potřeba chladu, následkem toho by mohlo docházet k nedodržení min. teplotní diference chlazené vody na výparníku a je riziko častého

vypínání stroje, je vhodné nainstalovat do přívodní větve chlazené vody akumulační nádrž pro prodloužení odstávky chladícího stroje. Další důvod může být požadavek na dodržení teploty výstupní chlazené vody.



Obr. 8 *Rozvody chlazené vody s dvojcestnými regulačními ventily, regulovaným přepouštěním na koncích větví a akumulační nádrží v přívodní větvi*

ZÁVĚR

Pro efektivní a ekonomické provozování zařízení nestačí pouze nakoupit a nainstalovat špičkové technologie. Neméně důležitá je i jejich vzájemná spolupráce a provázanost.

KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV – POŽADAVKY NAŠÍ LEGISLATIVY

Zuzana Mathauserová

Státní zdravotní ústav

zuzana.mathauserova @szu.cz

ANOTACE

V příspěvku budou shrnuty všechny požadavky a limity upravující oblast vnitřního prostředí budov - zákony, nařízení vlády, vyhlášky, normy a metodiky. Ne vždy jsou jednotné a jejich dodržení ne vždy zaručí dosažení požadovaného komfortu nebo alespoň únosnosti prostředí.

ÚVOD

Kvalita vnitřního prostředí budov je popsána souhrnem fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů a měla by být zaručena dodržením stanovených limitů na jednotlivé faktory tak, aby bylo vyloučeno zdravotní riziko pro člověka, nebo vymezeno alespoň „přijatelné riziko“ tam, kde působení škodlivin je bezprahové a žádné „bezpečné limity“ stanovit nelze. Opatření, které dodržení těchto limitů zajistí, je dostatečné větrání – vznikající „škodliviny“ jsou z prostředí odvedeny, nebo alespoň je jejich koncentrace snížena na přípustnou hodnotu nepoškozující zdraví člověka. Přestože větrání je opatření energeticky značně náročné a v současném trendu šetření energií se hledají všechny možné cesty úspor, je nutné zdůraznit, že hygienické a provozní požadavky (tedy i větrání) musí být vždy nadřazeny požadavkům energetickým.

PLATNÉ PŘEDPISY

Obecně vychází právně závazné hygienické požadavky na jednotlivé faktory prostředí a větrání ze zákonů:

- **zákon č. 350/2012 Sb.**, o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) v platném znění.
- **zákona č. 258/2000 Sb.**, o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů.
- **zákon č. 262/2006 Sb.**, zákoník práce v platném znění.
- **zákon č. 309/2006 Sb.**, o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

Některé jednotlivé požadavky vyplývají i z „atomového zákona“, „chemického zákona“, „zákona o odpadech“, „zákona o léčivech“ a řady dalších.

Podrobněji jsou „hygienické požadavky“ rozpracovány v prováděcích předpisech k těmto zákonům. K dispozici máme jednotlivá nařízení vlády a vyhlášky, nahrazující původní „hygienické předpisy“. V oblastech, které nejsou těmito předpisy pokryté, pomohou požadavky norem, které mohou být právně zezávazněny odkazem na normové hodnoty v příslušném nařízení vlády nebo vyhlášce, jinak jsou pouze doporučením vycházejícím z dosažené úrovně poznání řešené problematiky.

Prováděcí právní předpisy k uvedeným zákonům

- **nařízení vlády č. 361/2007 Sb.,** *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci,* ve znění **nařízení vlády č. č. 93/2012 Sb.;** (prováděcí předpisy k zákonu č. 262/2006 Sb. a 309/2006 Sb. s odvoláním na zákon č. 258/2000 Sb.).
  Stanovuje limitní hodnoty pro mikroklima, chemické látky a prašnost, osvětlení, větrání, fyzickou zátěž a pracovní polohy, prostorové požadavky a další.

- **Nařízení vlády č. 217/2016 Sb.**, *o ochraně před nepříznivými účinky hluku a vibrací* (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb., zákonu č. 262/2006 Sb. a 309/2006 Sb.). Stanovuje hygienické limity hluku na pracovištích i v chráněném vnitřním i venkovním prostoru staveb; hygienické limity vibrací na pracovištích a v chráněném vnitřním prostoru staveb.
- **Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.,** *o ochraně zdraví před neionizujícím zářením* (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb., zákonu č. 262/2006 Sb. a 309/2006 Sb.). Stanovuje nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $1{,}7 \cdot 10^{15}$ Hz pro zaměstnance a fyzické osoby v komunálním prostředí, způsob jeho zjišťování, hodnocení expozice, minimální rozsah informací o ochraně zdraví při práci a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnance, způsoby zjišťování a hodnocení expozice.
- **Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 268/2009 Sb.** ve znění **vyhlášky č. 20/2012 Sb.**, *o technických požadavcích na stavby*, (prováděcí předpis ke stavebnímu zákonu č. 183/2006 Sb., pro hl. m. Prahu platí Pražské stavební předpisy **č. 10/2016 Sb.**). Jsou stanoveny požadavky na větrání pobytových prostor, limit pro základní ukazatel kvality prostředí, tj. oxid uhličitý, odkazem na normy je řešeno osvětlení a větrání bytů.
- **Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb.,** *o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*, (prováděcí předpisy k zákonu č. 263/2016 Sb. v platném znění). Stanovuje limity pro radiační pracovníky pro omezení profesního ozáření, postupy optimalizace radiační ochrany, kategorizace pracovišť podle zdroje záření, kategorizace radiačních pracovníků podle dávky ozáření a další.
- **Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 410/2005 Sb.**, *o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých* ve znění **vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 343/2009 Sb.**, kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb. (prováděcí předpisy k zákonu č. 258/2000 Sb.). Řeší požadavky na mikroklimatické podmínky, osvětlení, větrání, prostorové požadavky apod.
- **Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 137/2004 Sb.**, *o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných*, ve znění v**yhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 602/2006 Sb.**, kterou se mění vyhláška č. 137/2004 Sb. (prováděcí předpisy k zákonu č. 258/2000 Sb.). Neřeší žádné požadavky na kvalitu vnitřního prostředí ať už pro zaměstnance nebo klienty.
- **Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 238/2011 Sb.**, *kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*, (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.). Řeší tepelně vlhkostní požadavky a větrání, stanovuje limity mikrobiální kontaminace.
- **Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb.**, *kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb* (prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb.). Řeší mikroklimatické požadavky některých pobytových prostor a limitní koncentrace vybraných chemických látek.
- **Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 92/2012 Sb.**, *o požadavcích na minimální technické a věcné vybavení zdravotnických zařízení a kontaktních pracovišť domácí péče* (prováděcí předpis k zákonu č. 372/2011 Sb.). *Řeší o*becné požadavky na technické a věcné vybavení zdravotnických zařízení. Je zde jen jediná zmínka týkající

se kvality vnitřního prostředí, a to „zdravotnické zařízení musí být vybaveno systémem přirozeného nebo nuceného větrání a systémem vytápění“.

- **Vyhláška Ministerstva zdravotnictví a Ministerstva zemědělství č. 84/2008 Sb.,** *o správné lékárenské praxi, bližších podmínkách zacházení s léčivy v lékárnách, zdravotnických zařízeních a u dalších provozovatelů a zařízení vydávajících léčivé přípravky,* ve znění **vyhlášky č. 254/2013 Sb.** (prováděcí předpis k zákonu č. 378/2007 Sb., zákon o léčivech). Jsou stanoveny požadavky na čistotu – třídy čistoty prostoru definované počtem částic pevného aerosolu o velikostech 0,5 a 5,0 μm (tj. podklad pro návrh vzduchotechniky) pro přípravu sterilních léčivých přípravků.

Někdy je stanovení konkrétních požadavků na kvalitu vnitřního prostředí problematické, protože v předpisech nejsou požadavky na jednotlivé faktory vnitřního prostředí staveb vždy jednotné, nebo v posledních novelizacích předpisů zcela chybí – viz Tab. 1.

Tab. 1 *Shrnutí některých platných právně závazných předpisů stanovující limity pro jednotlivé faktory vnitřního prostředí, včetně požadavků na větrání*

Typ prostředí	**Předpis**	**Existují limity a požadavky pro:**
pracovní	NV č. 361/2007 Sb., ve znění NV č. 93/2012 Sb. a č. 9/2013 Sb.	MKL, chemické látky a prašnost, osvětlení, **větrání**
stravovací	vyhláška č. 137/2004 Sb. ve znění č. 602/2006 Sb.	žádné limity neexistují
školské	vyhláška č. 410/2005 Sb. ve znění č. 343/2009 Sb.	MKL, osvětlení, **větrání**
pobytové	vyhláška č. 6/2003 Sb.	MKL, některé chemické látky a prašnost
bazény, sauny	vyhláška č. 238/2011 Sb.	MKL, osvětlení, **větrání,** mikrobiální kontaminaci vody
vnitřní prostředí staveb	vyhláška č. 20/2012 Sb.	**větrán**í, koncentrace CO_2

Pozn.: NV = nařízení vlády
MKL = mikroklima (teploty, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu)

Hluk a vibrace je pro všechny typy vnitřního prostředí řešen v NV č. 217/2016 Sb. a stejně tak neionizující záření v NV č. 291/2015 Sb.

Pracovní prostředí

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ve znění nařízení vlády č. 93/2012 Sb. a č. 9/2013

Mikroklimatické podmínky

Základní teplotní veličinou je výsledná teplota kulového teploměru t_g, nebo vypočítaná teplota operativní t_o. Citace celoročně přípustných hodnot teplot je uvedena v Tab. 2.

Tab. 2 *Zátěž teplem při práci – v závislosti na vykonávané činnosti, tj. energetickém výdeji M pro Rh 30 až 70 %*

Třída práce	**M [W.m^{-2}]**	**t_{omin} nebo t_{gmin} [°C]**	**t_{omax} nebo $t_{g\ max}$ [°C]**	**v_a [m.s^{-1}]**
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2
IIa	81 až 105	18	26	
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3
IIIa	131 až 160	10	30	
IIIb	161 až 200	10	26	0,1 až 0,5
IVa	201 až 250	10	24	
IVb	251 až 300	10	20	
V	301 a více	10	20	-

Zcela samostatně jsou dále řešeny tepelně vlhkostní požadavky na klimatizovaná pracoviště, kde klimatizace je použita nikoli z důvodů technologických požadavků na prostředí, ale k zajištění optimální pohody prostředí. Jsou uvažována pracoviště s činností s malým energetickým výdejem (administrativní budovy apod.), tedy jen třída práce I a IIa a tato pracoviště jsou ještě rozdělena do tří kategorií (A, B, C), podle požadované kvality prostředí a náročnosti vykonávané činnosti (A nejvyšší požadavky):

Tab. 3 *Přípustné hodnoty nastavení mikroklimatických podmínek pro klimatizované pracoviště třídy I a IIa*

Třída práce	**M [W.m^{-2}]**	**Kategorie**	**Klimatizovaná pracoviště**				**v_a [m.s^{-1}]**	**Rh [%]**
			Nastavení vytápění		**Nastavení chlazení**			
			Tepelný odpor oděvu 1,0 clo		**Tepelný odpor oděvu 0,5 clo**			
			t_{omin} (t_{gmin}) [°C]	**t_{omin} (t_{gmin}) [°C]**	**t_{omin} (t_{gmin}) [°C]**	**t_{omin} (t_{gmin}) [°C]**		
I	≤ 80	A	22	±1,0	24,5	±1,0	0,05 až 0,2	30 až 70
		B		±1,5		±1,5		
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0		
IIa	81-105	A	20	±1,0	23	±1,0		
		B		±1,5		±1,5		
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0		

Obdobným způsobem (pro kategorie A, B, C) jsou v NV stanoveny i limity pro působení rozdílné horizontální tepelné zátěže na úrovni hlavy zaměstnance – působení teplých a chladných povrchů. A jsou uvedeny i limitní rozdíly výsledných teplot mezi hlavou a kotníky při dané teplotě v úrovni hlavy zaměstnance.

Větrání

Základním opatřením, které může ovlivnit množství i tok škodlivin v prostoru je větrání. Množství vyměňovaného vzduchu se určuje s ohledem na vykonávanou práci a její fyzickou náročnost, počet zaměstnanců, tepelné technologické i vnější zdroje apod. Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště musí být (§41):

- **25 $m^3.h^{-1}$** na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd práce I nebo IIa na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění,
- **50 $m^3.h^{-1}$** na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd práce I nebo IIa na pracovišti s přítomností chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění,
- **70 $m^3.h^{-1}$** na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd práce IIb až IIIa,
- **90 $m^3.h^{-1}$** na zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd práce IVa až V.

Je-li pracoviště zatíženo pachy, kouřem apod., zvyšuje se dávka vzduchu o 10 $m^3.h^{-1}$. Je-li na pracoviště přístup veřejnosti (např. supermarkety, stravovací i zdravotnická zařízení apod.), zvyšuje se množství přiváděného venkovního vzduchu úměrně předpokládané zátěži 0,2 až 0,3 osoby/m^2 nezastavěné podlahové plochy.

Jsou stanoveny podmínky pro použití **oběhového vzduchu** spolu s podílem venkovního vzduchu, který nesmí být nižší než dávky vzduchu na osobu stanovené v § 41 při nuceném větrání a při použití klimatizace nesmí podíl venkovního vzduchu klesnout pod **15 %** celkového množství přiváděného vzduchu. Použitý oběhový vzduchu musí být vyčištěn tak, aby neobsahoval chemické látky nebo prach v koncentraci vyšší než **5 %** jejich přípustného expozičního limitu.

Školská a předškolní zařízení

Požadavky na větrání školských objektů a mikroklimatické podmínky jsou dány „školskou vyhláškou“ č. 410/2005 Sb. v platném znění.

Tab. 4 *Množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání*

Typ prostoru	Přiváděný venkovní vzduch [$m^3.h^{-1}$]
Učebny	20 - 30 na 1 žáka
Tělocvičny	20 - 90 na 1 žáka
Šatny	20 na žáka
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na kabinu 25 na pisoár

Tab. 5 *Průměrné hodnoty mikroklimatických podmínek*

Typ prostoru	Výsledná teplota			Max. rychlost proudění	Relativní vlhkost
	$t_{g\,min}$ [°C]	$t_{g\,opt}$ [°C]	$t_{g\,max}$ [°C]	v_a [$m.s^{-1}$]	rh [%]
Učebny, pracovny, místnosti určené k trvalému pobytu	20	22 ± 2	28	0,2	30 - 65
Tělocvičny	18	20 ± 2	28	0,2	30 - 65

Protože se stále hovoří o novelizaci této vyhlášky, byl připraven podklad pro novelizaci části týkající se větrání – dávky vzduchu zde byly rozlišeny (sníženy) podle věku žáků a dětí, resp. podle množství vydechovaného CO_2 v závislosti na věku. Zatím k novelizaci nedošlo, ale takto připravený materiál se stal i podkladem k Metodickému pokynu pro návrh větrání škol, který je určen žadatelům o podporu z Operačního programu životní prostředí. A nyní je problém – na jedné straně jsou požadavky právně závazného předpisu (vyhlášky) a na druhé straně rozumné, ale právně nezávazné požadavky Metodického pokynu. Je zde i několik dalších zcela nesprávných požadavků, které musí být při novelizaci vypuštěny, jako např. §18, kterým se nařizuje, že *„Přirozené větrání **musí být** v případě těsných oken zajištěno systémy mikroventilace nebo větracími štěrbinami“.*

Pobytové prostory

Zde platí vyhláška **č. 6/2003 Sb.** a i tady je nutná její novelizace. Jsou zde uvedeny sporné požadavky na mikroklima, ale požadavky na větrání zcela chybí a chybí – jako i u školské vyhlášky požadavek na přípustnou koncentraci CO_2. Ten je možné pro pobytové místnosti najít pouze ve stavební vyhlášce – **vyhlášce č. 20/2012 Sb.** – 1500 ppm CO_2 (stejný požadavek na koncentraci CO_2 je uveden i v Pražských stavebních předpisech – vyhláška **č. 10/2016** Sb. hl. m. Prahy) a je zde požadavek na přívod 25 $m^3.h^{-1}$ čerstvého vzduchu na osobu.

Stavební vyhláška je i jediným právně závazným předpisem, který - ale pouze všeobecným odkazem na normové hodnoty - řeší větrání bytů. Základní požadavky jsou pak v **ČSN EN 15665/Z1** – *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. I zde je základním požadavkem přívod 25 $m^3.h^{-1}$ čerstvého vzduchu na osobu. Je samozřejmě možné použít požadavky na větrání i z dalších norem, např. ČSN 73 0540-2, ČSN EN 15251 apod.

ZÁVĚR

Podkladů pro stanovení kvality vnitřního prostředí staveb, vč. větrání máme celou řadu, což je ale spíš ke škodě celé problematiky, protože všechny podklady nemluví stejnou terminologií a nestanovují stejné požadavky, např. celostátní stavební vyhláška požaduje přívod 25 $m^3.h^{-1}$ čerstvého vzduchu na osobu, Pražské stavební předpisy ale jen 15 $m^3.h^{-1}$ čerstvého vzduchu na osobu. A pro některé oblasti alespoň základní požadavky (např. pro zdravotnická zařízení) zcela chybí.

SEZNAM OZNAČENÍ

t	teplota vzduchu	[°C]
t_g	výsledná teplota	[°C]
t_o	operativní teplota	[°C]
v_a	rychlost proudění vzduchu	[$m.s^{-1}$]
Rh	relativní vlhkost vzduchu	[%]

PERSONALIZOVANÉ VĚTRÁNÍ PRO PRACOVIŠTĚ DISPEČERA

Vojtěch Mazanec[1], Karel Kabele[2]

[1]Univerzitní Centrum Energeticky Efektivních Budov při ČVUT v Praze
[2]Fakulta stavební, ČVUT v Praze
vojtech.mazanec@fsv.cvut.cz, kabele@fsv.cvut.cz

ANOTACE

Článek se zabývá řešením personalizovaného větrání na pracovišti dispečerů, které je specifické přísnými požadavky na kvalitu prostředí současně s umístěním ve velkoprostorové kanceláři. V úvodní části jsou rozebírány parametry návrhu a požadavků, z nichž vychází důvod volby právě personalizovaného větrání. Dále je pak řešen návrh a ověření distribuce vzduchu pro pracoviště, který v sobě váže možnosti pracovního místa, efektivitu distribuce různého rozvržení přívodních a odvodních prvků a zásadní vliv konvekčních teplotních vrstev okolo lidského těla na množství čerstvého vzduchu přiváděného do dýchací zóny, a tedy i vnímanou kvalitu vzduchu. K posouzení bylo využito CFD simulace, PIV anemometrie a termálního manekýna pro simulaci konvekčních vrstev okolo lidského těla. V závěru vybrán vhodný typ a rozvržení distribučních prvků vzhledem k nejvyšší efektivitě v rámci daných možností.

ÚVOD

Větrání větších prostorů s vyššími požadavky na komfort a kvalitu vzduchu je vždy poměrně komplikovaným tématem a současně výzvou. V naší studii jsme se dostali k návrhu úpravy vzduchotechnických systému na pracovišti dispečerů, které právě tato přísná kritéria obsahuje. Konkrétně se jedná o velkoprostorovou kancelář s přibližně šedesáti pracovními místy, pravidelně zaplněnými i z méně než padesáti procent. Důležité je i uvést, že práce dispečerů je velmi závislá na jejich soustředění, a tedy na co největšímu omezení rušivých okolních vlivů.

V současném stavu je distribuce vzduchu navržena vytěsňováním, čerstvý vzduch je přiváděn z podlahových vyústek ze zdvojené podlahy a znečištěný posléze odváděn odtahy pod stropem. Tím, že je prostor pod podlahou propojený, nelze přívod vzduchu do místnosti regulovat lokálně podle obsazenosti jednotlivých pracovišť a individuálních požadavků jednotlivých pracovníků.

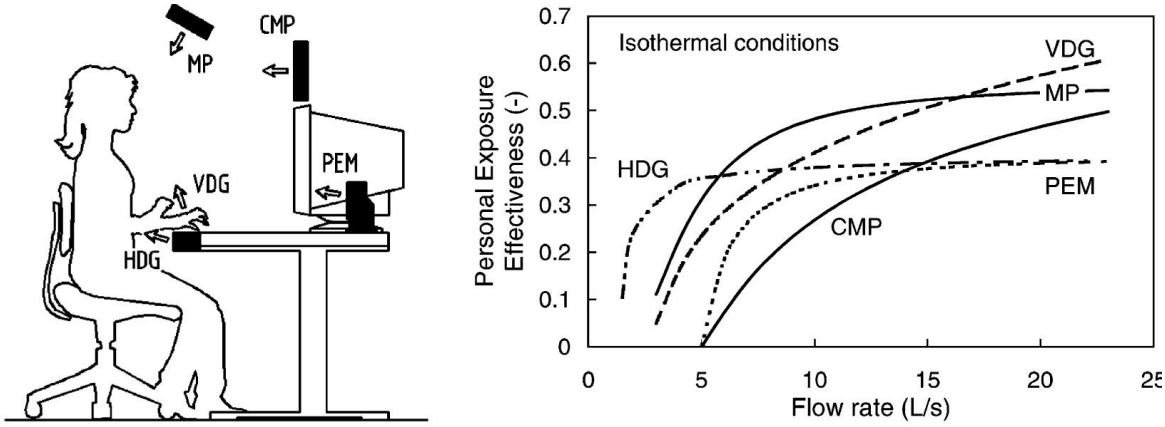
Vzhledem k tomu, že se jedná o stávající objekt, navržené řešení vychází z požadavku na minimální zásah do okolních prostorů a využití současného zařízení. Toto řešení spočívá v instalaci systému personalizovaného větrání [1], které částečně nahradí stávající způsob distribuce vzduchu v místnosti a umožní individuální úpravu množství a teploty vzduchu přiváděného do pobytové zóny pracovního místa. Systém personalizovaného větrání pro každé pracovní místo se skládá z mikroklimatizační jednotky a distribuční sítě. Mikroklimatizační jednotka umístěná v prostoru zdvojené podlahy nasává centrálně upravovaný vzduch, termoelektrickými prvky upravuje teplotu a regulovaným výkonem ventilátoru dopravuje požadované množství vzduchu přes distribuční síť a vyústky do pracovního prostoru uživatele. Znehodnocený vzduch je dále odváděn stávajícím vzduchotechnickým zařízením. Oproti stávajícímu stavu se nemění celkové množství centrálně přiváděného a odváděného vzduchu v místnosti, pouze dochází k změně jeho distribuce. Detailním řešením mikroklimatizační jednotky se podrobněji zabývají předchozí články autorů.

ROZLOŽENÍ A TVAR VYÚSTEK

Varianty a limity rozložení vyústek

Při navrhování vyústek personalizovaného větrání jsme měli za cíl implementovat co nejefektivnější a zároveň co nejvariabilnější systém větrání. Prvním a podstatným limitem ale bylo samotné pracovní místo dispečera, které svou komplexností významně omezuje možnosti umístění vyústek.

Základem pro návrh rozložení vyústek byla studie prof. Melikova [6] (obr. 1), která rozebírá efektivitu distribuce vzduchu z jednotlivých pozic zdroje proudění. Podle této studie jsme tedy napřed seřadili možnosti distribuce podle efektivity a následně možnosti implementovat je do pracovního místa.



Obr. 1 *Studie efektivity personalizovaného větrání při různém rozložení vyústek a rozdílných rychlostech proudění. MP – volná horní vyústka, CMP – vyústka nad monitorem, PEM – boční vyústky, VDG – vertikální břišní vyústka, HDG – horizontální břišní vyústka [6]*

Varianta nad monitorem

Varianta nad monitorem je prezentována jako nejefektivnější způsob distribuce a využívá jí jeden z nejznámějších produktů personalizovaného větrání, který se dostal na širší trh. Riziko je ale větší rychlost proudění ve výšce očí, což by mohlo v konečném důsledku způsobit jejich vysušování, a tedy větší diskomfort než přínos.

Varianta po stranách monitoru

Varianta po stranách monitoru vychází jako efektivní způsob a je možné jej i snadno implementovat do konstrukce pracovního místa. Vyniká taky poměrně velkou variabilitou v případě, že bude možné vyústku částečně směrovat v horizontální rovině.

Varianta břišní vyústky

Břišní vyústka je dalším efektivním způsobem, jak přivádět vzduch do dýchací zóny. Její umístění má výhodu velmi krátké vzdálenosti, kterou je potřeba překonat, a tedy vysokou efektivitu i při malých průtocích. Poměrně velký je i vliv případné úpravy teploty. Nevýhodou je ovšem velká fixace na pozici, ve které se pracovník nachází, protože při jiném, než standardním posazení efektivita prudce klesá. Další komplikací je poměrně složitá implementace do pracovního místa.

Výběr varianty

Varianty rozložení byly dlouze diskutovány jak s budoucími uživateli systému, tak s techniky, kteří vyvíjí nové řešení pracoviště dispečera. Jako finální verze bylo zvoleno umístění po stranách, a to kvůli vhodným podmínkám instalaci přívodních prvků i napojení na jednotku

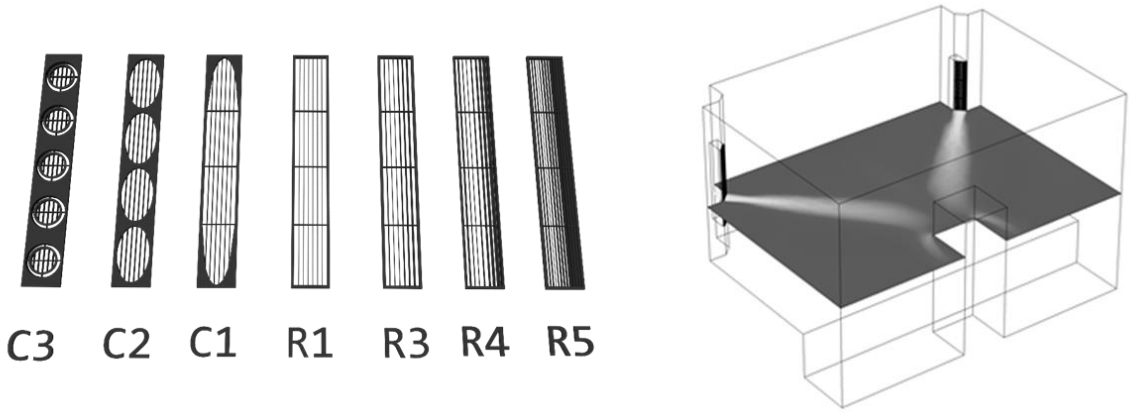
pod podlahou. Umístění nad monitorem bylo kvůli aplikaci dvou velkoplošných monitorů nad sebou konstrukčně příliš náročné. Břišní vyústka zase vykazovala nízkou variabilitu a při spojení s obtížnější implementací se nejevila jako efektivní.

Varianty možných typů vyústek

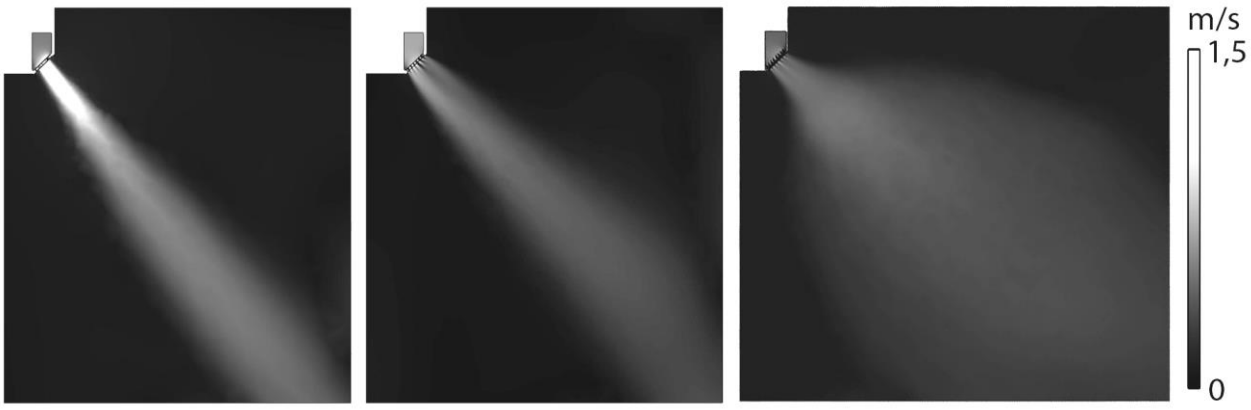
Po výběru umístění bylo potřeba navrhnout i tvar vyústky, a tedy i proudu vzduchu, který bude použit pro distribuci. Vyústky byly navrženy dvě po stranách s primárním směřováním ke středu stolu, kde je očekávána pozice pracovníka. Přiváděný vzduch tak musí mít dostatečnou rychlost, aby překonal vzdálenost přibližně 750 mm a dostal se skrze konvekční vrstvy do dýchací zóny. Horním limitem je však komfort uživatele, který nesmí být negativně ovlivněn pocitem přílišného proudění, nebo prochládání jednotlivých částí těla.

Varianty tvarů vyústek

Pro výběr ideálního tvaru vyústky i proudění jsme vytvořili řadu modelů pro 3D simulaci, které měly ověřit různé druhy proudění a jejich dopad na prostředí v místě užívání. Tato řada začínala u kruhových trysek, které mají velkou výhodu dlouhého dosahu proudu a tedy vysoké efektivity distribuce, za cenu možného diskomfortu a menšího rozptylu proudu, tedy i nižší variability pozice uživatele, pokračovala mezistupni k prosté obdélné mřížce s vertikálními rovnoběžnými lamelami, které mají střední rozptyl i dosah proudu, a končila u obdélných vyústek s od sebe se rozbíhajícími lamelami, které mají nejširší rozsah, ale zároveň teoreticky nejnižší rychlosti ve srovnávací rovině (obr.2).



Obr. 2 *Testované varianty vyústek a jejich umístění v pracovišti*



Obr. 3 *CFD simulace vyústek: kruhové trysky C3 (vlevo), obdélná vyústka s rovnoběžnými lamelami R1 (uprostřed), obdélná vertikální vyústka s rozbíhajícími se lamelami R5 (vpravo).*

Na obr. 3 můžeme vidět výsledky CFD simulace pro různé varianty proudění. Pro simulaci byl využit program COMSOL Multiphysic a ve srovnání šlo o izotermní proudění s předpokládaným průtokem 25 m^3/h z jedné vyústky, a tedy 50 m^3/h z celého systému, což je hodnota, která dané práci normově odpovídá. Pro volbu jsme vybrali dvě zásadní kritéria: šířku proudu, a tedy variabilitu polohy uživatele, a dostatečnou rychlost v dýchací zóně, kterou jsme stanovili na doporučených hodnotách mezi 0,15 – 0,25 m/s. Velikost a umístění instalačního prostoru byla stanovena konstrukčními možnostmi pracoviště. Využitelný světlý otvor vyústky tak odpovídal 300 mm výšky a 50 mm šířky.

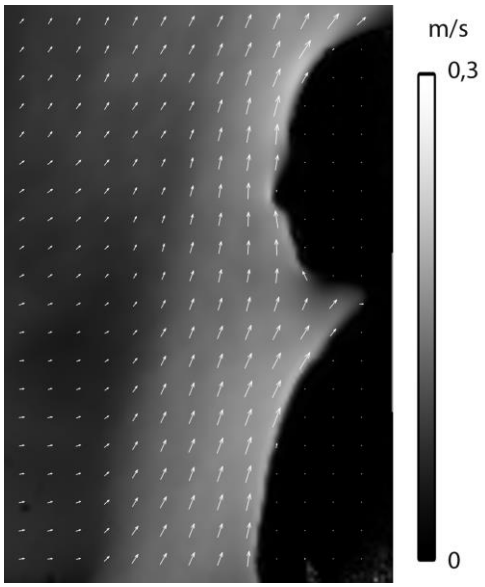
Z řady typů vyústek nakonec nejlépe vyhovovala varianta R5 s vertikálními rozbíhajícími se lamelami, která při dostatečné rychlosti v dýchací zóně poskytovala nejširší proud vzduchu.

KONVEKČNÍ VRSTVY

Teorie konvekčních vrstev

Distribuce vzduchu v nízkých objemech a z blízké vzdálenosti, jak jí používá právě personalizované větrání, je výrazně ovlivněna blízkým prostředím uživatele [2][3][4]. Jedním z významných jevů, který má výrazný vliv, jsou konvekční vrstvy vzduchu vznikající kolem lidského těla. Konvekční vrstvy vznikají na základě rozdílných teplot povrchu těla a prostředí. Teplo se šíří do přilehlých vrstev vzduchu a jeho ohřívání způsobuje výrazné stoupavé konvekční proudy, které začínají u kotníků a postupně se rozvíjejí k trupu a nad hlavou vytváří chochol teplého proudění. Jejich rychlost závisí na rozdílu teplot povrchu těla a okolí a také na způsobu větrání a chlazení místnosti, v ustáleném prostředí však dosahují až 0,25 m/s a to hlavně v oblasti hrudníku a hlavy [2][3]. Tyto konvekční vrstvy mají podstatný negativní vliv na vnímání kvality vnitřního prostředí, protože ve své podstatě ‚oplachují' tělo člověka a transportují zásadní část znečištění, které tělo produkuje, přímo do dýchací zóny. K tomu se přidává ještě množství škodlivin přímo z podlahy, od které se proudy rozvíjí. Vzduch v konvekčních vrstvách je navíc teplejší, a tedy pocitově vnímán jako méně čerstvý, než je vzduch ve zbytku místnosti.

Na obr. 4 je vidět měření sedícího oblečeného termálního manekýna, který povrchovou teplotou odpovídá sedícímu muži při lehké práci. Metodou PIV (Particle Image Velocimetry) byly změřeny konvekční vrstvy při teplotě interiéru 25 ° Celsia.



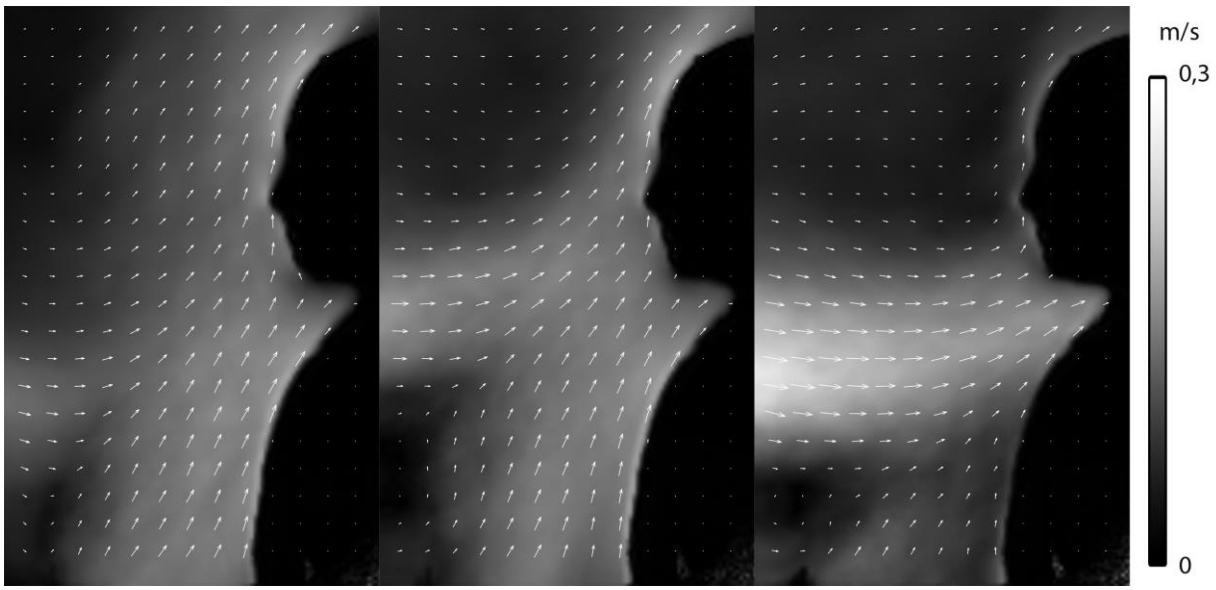
Obr. 4 *Rychlost proudění konvekčních vrstev v blízkosti dýchací zóny u sedícího člověka*

Vliv konvekčních vrstev na distribuci čerstvého vzduchu

Kromě transportu škodlivin mají konvekční vrstvy druhý výrazný negativní efekt. Při distribuci čerstvého vzduchu interagují s okolním prouděním, a zvláště u systémů personalizovaného větrání, kde přívodní prvky spoléhají na malé objemy transportované na krátkou vzdálenost, a tedy menšími rychlostmi, velmi negativně ovlivňují efektivitu distribuce. Například studie prof. A. Melikova [3] z Dánské Technické Univerzity ukazuje, že při úspěšném omezení, nebo úplném přerušení proudů v hraničních vrstvách vykazuje personalizované větrání násobně vyšší účinnost. V dané studii byla naměřena efektivita distribuce vzduchu 30 % (tedy 30 % čerstvého vzduchu z vyústky personalizovaného větrání se dostalo do dýchací zóny), pokud byly konvekční vrstvy plně rozvinuté, zatímco při jejich přerušení pohyblivou deskou ve výšce břicha, nebo odsáváním ve stejném místě efektivita distribuce vzrostla na 90 %.

Posouzení interakce s konvekčními vrstvami

Abychom dokázali zohlednit vliv konvekčních vrstev pro vybraný typ vyústky a byli schopni odhadnout vhodné přiváděné množství vzduchu, provedli jsme měření prototypu této vyústky na termálním manekýnovi s různými rychlostmi proudění na přívodní vyústce. Na obr. 5 je patrná interakce proudu čerstvého vzduchu a konvekčních vrstev pro přiváděné objemy 15, 25 a 30 m^3/h. Z výsledků můžeme odvodit, že při nejnižším dodávaném objemu je rychlost vzduchu příliš nízká, a čerstvý vzduch se tak vůbec nedostane do dýchací zóny. Takto nízké rychlosti jsou tak velmi neefektivní, až zbytečné. Druhý snímek ukazuje střední rychlost, tedy stav při 25 m^3/h (množství odpovídající CFD simulaci), kdy se už čerstvý vzduch mísí s konvekčními vrstvami a dostává se tak již efektivně do dýchací zóny uživatele. Při nejvyšších rychlostech pak můžeme vidět celkové narušení konvekčních vrstev jak vysokou rychlostí proudění z vyústky, tak ochlazováním povrchové teploty těla. Tato rychlost vede sice k vysoké efektivitě, ale zároveň již může způsobovat pocity tepelného diskomfortu. Výsledkem studie je rozsah objemu vzduchu, který je pro přívodní vyústky vhodný. Měření ukazuje, že ideální rozsah leží přibližně mezi 20 a 30 m^3/h.



Obr. 5 *Měření interakce proudění vyústky a konvekčních vrstev při přiváděných objemech zleva: 15, 25 a 30 m^3/h*

ZÁVĚR

Efektivita návrhu personalizovaného větrání je velmi citlivá na jednotlivé vnější podmínky. Samotný návrh tak musí vhodně počítat s rozložením vyústek, ale stejně tak s jejich tvarem a objemem přiváděného vzduchu. Pro stůl dispečerů, který je výrazně omezen možnostmi instalace zařízení, jsme se rozhodli využít postranních prostorů pro instalaci vertikálních vyústek směřujících v úhlu k pozici uživatele. Přes modely CFD jsme určili vhodný tvar samotné vyústky, který při průtoku 25 m^3/h z každé strany poskytoval dostatečnou rychlost v dýchací zóně a zároveň i dostatečný horizontální rozptyl proudu vzduchu. Následně jsme měřili interakci proudu u zvoleného typu vyústky a konvekčních vrstev, které se vytvářejí klem lidského těla. Díky tomu jsme byli schopni určit rozsah objemů, které jsou pro přívodní elementy vhodné.

LITERATURA

[1] Melikov, A. K., Advanced air distribution: improving health and comfort while reducing energy use. Indoor Air 2016, 26: 112–124. doi:10.1111/ina.12206

[2] Licina, D., Melikov, A., Sekhar, C. and Tham, K. W., Human convective boundary layer and its interaction with room ventilation flow. Indoor Air 2015, 25: 21–35. doi:10.1111/ina.12120

[3] Melikov AK. Human body micro-environment: The benefits of controlling airflow interaction. Building and Environment. 2015;91:70-77. Available from, DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.04.010

[4] Licina D, Melikov AK, Sekhar C, Tham KW. Air temperature investigation in microenvironment around a human body. Building and Environment. 2015;92:39-47. Available from, DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.04.014

[5] Homma, H. and Yakiyama, M. Examination of free convection around occupant's body caused by its metabolic heat, ASHRAE Trans., 94,104–124.

[6] Melikov A. K., Cermak R., Majer M., Personalized ventilation: evaluation of different air terminal devices, Energy and Buildings 34 (2002) 829–836

Tato práce vznikla za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 - Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti

Práce byla zároveň podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS17/015/OHK1/1T/11

EXPERTNÍ SYSTÉM PRO ANALÝZU PROVOZU VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK

Ondřej Nehasil[1], Daniel Adamovský[1], Jan Široký[2]

[1]Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

[2]Energocentrum Plus, s.r.o.

ondrej.nehasil@uceeb.cz, daniel.adamovsky@fsv.cvut.cz, jan.siroky@energocentrum.cz

ANOTACE

Předmětem článku je představit vyvíjený systém pro analýzu provozu vzduchotechnických jednotek na základě expertních pravidel pracujících s kontinuálně sbíranými daty. Cílem běžícího projektu je implementovat vyvinutou sadu expertních pravidel do dispečerského systému SCADA Mervis.

Expertní pravidla umožňují analyzovat historická provozní data ze vzduchotechnické jednotky bez intervence lidského operátora. Základem pro aplikaci expertního systému je standardizace systému měření a regulace, na kterou navazuje aplikace expertních pravidel. Ta se obvykle opírají o známou kombinaci měřených hodnot, na které je možné ověřit správnou funkci jednotky například pomocí zákonů o zachování hmoty a energie.

Na základě této průběžné analýzy lze identifikovat chybný provoz jednotek a vytyčit potenciál úspor energie, který se nalézá v nehospodárném provozu stávajících zařízení. Rovněž umožňuje identifikovat vliv špatného provozu vzduchotechnického zařízení na kvalitu vnitřního prostředí a na životnost zařízení.

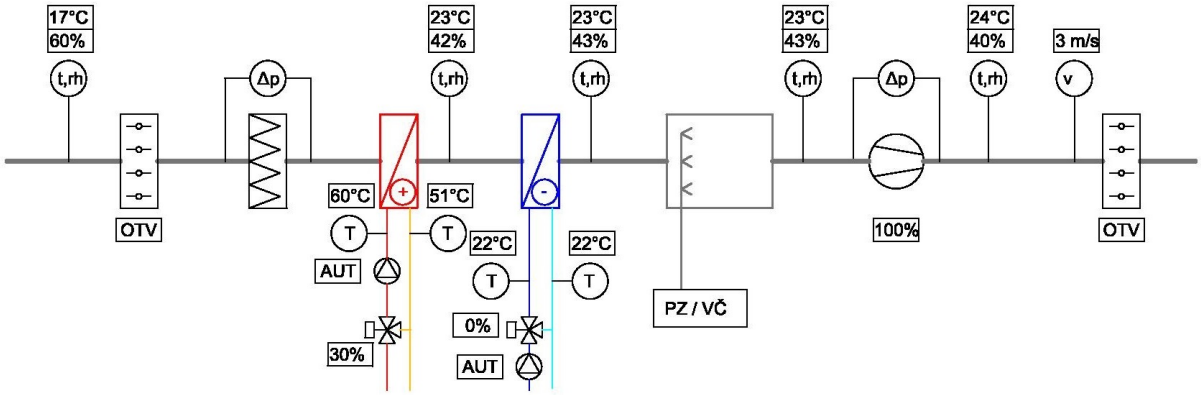
Záměrem expertního systému je vytvořit podporu pro správu budov s velkým počtem vzduchotechnických zařízení. Představovaný systém zatím pokrývá jednokanálové jednotky. Ověřovací analýza na skutečných jednotkách prokázala schopnost identifikovat chybné nastavení regulace jednotek či technické závady se značným dopadem na spotřebu energie.

ÚVOD

Vzhledem k přibližně 40% podílu budov na celkové spotřebě energie [1], není překvapivé zjištění vycházející z výstupů IEA Annexů 25 [2] a 34 [3], že mnohé systémy technických zařízení budov jsou špatně udržované a nesprávně provozované. Důsledkem jsou energetické ztráty ve výši 15-30 % v komerčních budovách [4], [5]. Účinné a úsporné technické zařízení budov vč. systémů vzduchotechniky jsou podmínkou k minimalizaci celkové spotřeby energie. To ovšem vyžaduje automatický monitorovací systém s detekcí chyb vzniklých při provozu. Dnes je k dispozici několik možností, které mají původ v řízení průmyslových procesů a obvykle se sjednocují pod metody tzv. fault detection and diagnostics (dále FDD), neboli metody detekce a diagnostiky chyb.

V aplikaci ve vzduchotechnice nabízí podporu v identifikaci chybných stavů centrálních i koncových jednotek a tím dosažení významné energetické i finanční úspory při nízkých nákladech [6].

Vzduchotechnické jednotky mohou nabývat mnoha podob a sestav, od jednokanálových větracích, až po komplexní vícekanálová klimatizační zařízení se zpětným získáváním tepla. Pravidla pro diagnostiku jednokanálové jednotky nemusí platit pro klimatizační zařízení, a naopak. Tato práce se zaměřuje na jednokanálové přívodní jednotky, podle Obr. 1.

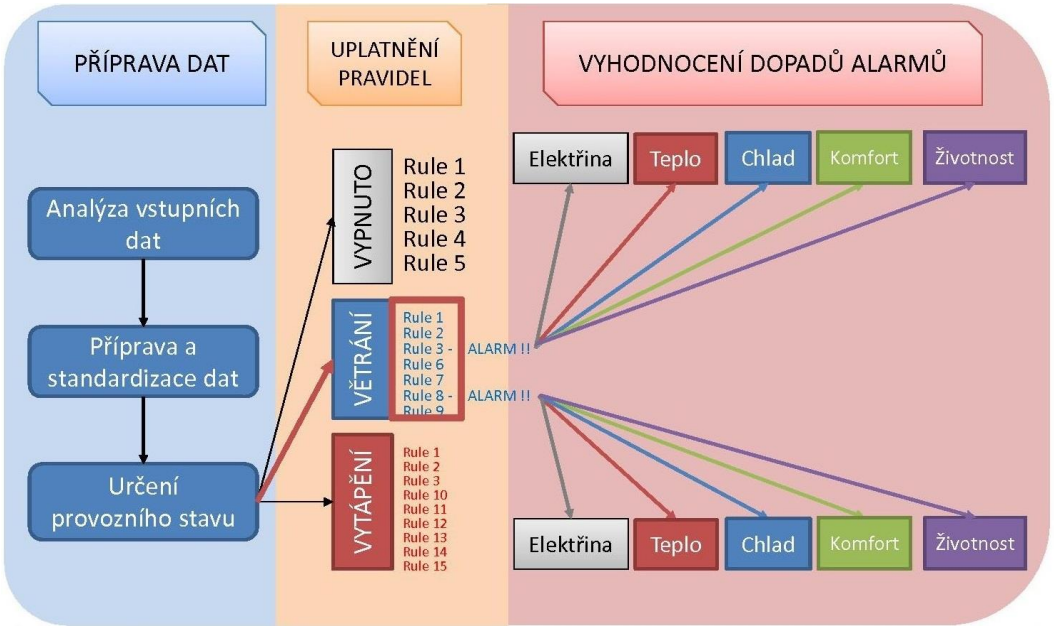


Obr. 1 *Jednokanálová přívodní jednotka*

METODIKA

Metodika expertního systému se vztahuje na vzduchotechnické (VZT) jednotky, které jsou osazeny komplexním měřením a regulací a data z jejich senzorů jsou sbírána do SCADA systému Mervis. Ve sbíraných datech jsou již často obsaženy potřebné informace k odhalení poruch nebo nehospodárného provozu. SCADA data z regulačního systému ovšem pouze ukládá a zobrazuje ve formě datových bodů s aktuální hodnotou a historií, ale nevyhodnocuje je.

Postup procesu diagnostiky (obr. 2) určuje způsob jak uložená data připravit pro vyhodnocení a stanovuje sadu expertních pravidel, která umožní VZT jednotky sledovat bez intervence lidského operátora. Pro dosažení praktického přínosu uvádí jakým způsobem vyhodnotit situace, kdy zmíněná pravidla nejsou dodržena. Metoda je nenáročná na vstupní data, vystačí si v základu s daty z regulačního systému.



Obr. 2 *Schéma procesu diagnostiky*

Interpretace datových bodů

V oblasti SCADA systémů není uplatňován jednotný standard značení ani uspořádání proměnných. Diagnostika proto nemůže datové body třídit podle názvu.

Pro nasazení diagnostiky na větší množství zařízení je nutné propojit datové body s odpovídajícími vstupy diagnostického systému. To se děje pomocí „tagů“ (čili štítků), přiřazovaných k datovým bodům ručně. Při tagování je nutné data rovněž pre-analyzovat, aby nebyly tagovány neplatné body.

Pokud by diagnostika vycházela z nevhodných dat, generovala by velké množství alarmů, nebo zcela selhala. K tomu může dojít zejména použitím nevhodného datového bodu. Například: Chod ventilátoru může být použit jako rozhodující datový bod pro určení provozního režimu mezi režimy *zapnuto* a *vypnuto*. Přitom se ale může jednat o mrtvý datový bod, který nemá vliv na chod VZT a setrvává stále v poloze „ZAP“ ačkoli VZT se zapíná a vypíná podle plánu. Chybné určení rozhodujícího bodu tak může překazit celou diagnostiku.

Protože tagování probíhá ručně, byly vytvořeny kontrolní mechanismy, které pomáhají tagovat správné a platné body. Jsou to:

Indikátor aktivity bodu, který zobrazuje průměrný počet změn hodnoty bodu za 24 hodin, zkoumaný přes časové období uložených dat. Aktivita bodu nemusí být vždy dostatečně vypovídající, protože některé datové body spojené s letní nebo zimní sezónou mohou vykazovat třeba jen dvě změny hodnoty do roka. Ačkoli se pak jeví jako neaktivní, jsou ve skutečnosti platné.

Indikátor určenosti bodu, který je podílem platných hodnot v celé délce zkoumaného intervalu. Za neplatné je možné považovat body, které často vykazují hodnoty „null“, „unknown“, nebo neobsahují žádnou hodnotu. Takové body by neměly do diagnostiky vstupovat.

Délky spojitých úseků jsou pomocnou informací, která doplňuje předchozí indikátory. Během analýzy se po každé změně hodnoty zjistí, jak dlouho byla tato hodnota ukládána beze změny.

Příklad použití indikátorů: Datový bod sleduje teplotu. Indikátor aktivity hlásí 42 změn za den, indikátor určenosti 1,0; nejkratší úsek má délku jednoho časového kroku a nejdelší úsek má délku 62 dnů v celkovém intervalu 1 rok. Je velmi nepravděpodobné, až vyloučené, že by měřená teplota byla 62 dnů beze změny. Lze proto očekávat, že bod je sice platný, ale příslušný senzor byl dlouho mimo provoz. Spojitému úseku je třeba věnovat pozornost a rozhodnout se, zda například z diagnostiky určité období nevyloučit.

Standartní názvosloví pro přiřazení významu datových bodů diagnostickým systémem je určeno trojicí tagů, které musí být přiřazeny ke každému bodu, který do diagnostiky vstupuje.

Datový bod je charakterizován podle veličiny, kterou představuje, místa ke kterému se vztahuje a podle jeho úlohy v regulaci. Například pro požadovanou teplotu prostoru se použijí tagy „teplota“, „požadavek“ a „prostor“, což se v textu může zobrazit s pomocí horních a dolních indexů následovně: $veličina_{místo}^{typ\ bodu} = t_a_{SPC}^{Req}$

Diagnostika pracuje s následujícím seznamem standartních „tagů“:

Tab. 1 *Tagy pro veličiny, místa a typy datových bodů.*

Veličina	**Zkratka**	**Jednotka**
Teplota vzduchu	t_a	°C
Relativní vlhkost	RH	%
Koncentrace CO_2	CO	ppm
Kvalita vzduchu	VOC	%
Rychlost	v	m/s
Průtok	V	m^3/h
Procento otevření	Sig	%
Tlaková diference	Dp	Pa
Absolutní tlak	P	kPa
Chod	Run	ZAP/VYP
Teplota vody (média)	t_w	°C
Stav	Sta	enum

Typ bodu	**Značka**
Měřená nebo do systému signalizovaná veličina	Real
Požadovaná hodnota (výstup)	Req
Maximální dovolená hodnota	Max
Minimální dovolená hodnota	Min
Pomocný bod	Aux
Místo	**Značka**
Celá VZT jednotka	AHU
Větraný prostor	SPC
Kanál sání venk. vzduchu	ODA
Výtlak vzduchu do prostoru	SUP
Klapka přívodu vzd. do jedn.	VAS
Klapka přívodu vzd. do prost.	VAF
Filtr na přívodu vzduchu	FIS
Před ohřívačem	HEA_B
Ohřívač	HEA
Za ohřívačem	HEA_A
Před chladičem	CHI_B
Chladič	CHI
Za chladičem	CHI_A
Čerpadlo chlazení	CHI_P
Ventil chlazení	CHI_V
Čerpadlo ohřevu	HEA_P
Ventil ohřevu	HEA_V
Ventilátor přív. vzduchu	FAN_F
Parní zvlhčovač	SH
Parní distributor	SD
Čerpadlo/ventil zvlhčovače	HP
Vodní zvlhčovací komora	WHCh
Za vlhčením	HUM_A
Venku	OUT

Expertní pravidla

Většina pravidel je založena na znalosti provozního stavu jednotky. Například pravidlo zkoumající, zda jsou v režimu pouhého větrání zcela zastaveny všechny prvky vytápění či chlazení je možno uplatnit jedině tehdy, když víme, že VZT jednotka má pouze větrat. Protože tentýž jev se v různých provozních stavech hodnotí různými způsoby, je obvyklé, že jsou k tomu postavena i různá, ačkoli navzájem podobná pravidla. Celkem bylo vytvořeno 27 pravidel, která ale nejsou aktivní všechna současně

Neznámý provozní stav nastává například tehdy, pokud VZT současně ohřívá a chladí a nejde proto rozhodnout, zda jde o režim vytápění nebo chlazení. Tento provozní stav je detekovanou chybou sám o sobě.

Rozhodnutí o provozním stavu (Pravidlo 0)

Systém SCADA obvykle informaci o provozním stavu nemá, musí proto být dovozena ze vstupních dat. Na provozní stav se proto usuzuje z informace o chodu ventilátoru, ohřívače, chladiče a zvlhčovače, přičemž vyhodnocení musí fungovat i tehdy, pokud některé z těchto součástí nejsou vůbec osazeny. Celkem existuje 81 možných kombinací vstupů, přičemž 26 jich vede na známé provozní stavy a 55 kombinací vede na „neznámý stav“.

Dopady chyb

Pokud některé pravidlo zjistí nesplněnou podmínku, eviduje v daný okamžik alarm. Ten sám o sobě nemusí znamenat chybu. Například při rozběhu do režimu vytápění není prvních několik minut splněna podmínka pravidla 14 (teplotní spád na výměníku) pro zpoždění vzniku příslušného teplotního spádu. Tyto časové konstanty jsou pro každé zařízení jiné. Každý alarm proto spouští výpočet zmařené elektrické energie, tepla, chladu, ohrožení komfortu a snížení životnosti zařízení. Úhrny těchto dopadů pak signalizují váhu chyby a umožňují soustředit pozornost operátora tam, kde jsou závady nejzávažnější.

Pro výpočet množství zmařené energie je potřeba znát parametry VZT zařízení. Diagnostický systém je připraven na to, že informace o příkonu ventilátorů, oběhových čerpadel, o výkonech ohřívačů a chladičů budou k dispozici. Obvykle ale nejsou, a je třeba je odborně odhadnout. Diagnostika má připraven pomocný výpočet, který výkony jednotlivých součástí odhaduje z jedné známé hodnoty jmenovitého průtoku vzduchu. Pokud ani tato hodnota není známa, je možné uvažovat se základní hodnotou např. 1000 m^3/h, aby výsledky na různých zařízeních byly alespoň navzájem porovnatelné.

VÝSLEDKY A ANALÝZA

Pro odzkoušení byly vybrány čtyři VZT jednotky ve čtyřech různých budovách. Historická data, v délce 21, 11, 10 a 32 měsíců. Interval ukládání dat byl 5 minut. Níže jsou uvedeny vybrané výstupy z provedené analýzy:

Běh ventilátoru proti uzavřené klapce: Jedna z VZT jednotek 34 dnů běžela plným výkonem ventilátoru proti uzavřené klapce. Odhadem bylo zmařeno přes 10 MWh elektrické energie s negativním dopadem na vnitřní prostředí, které nebylo větráno.

Ruční zásah obsluhy: Jednu z VZT jednotek obsluha ručně vypnula, a pravděpodobně zapomněla zapnout. Deset měsíců jednotka neběžela, s veškerým dopadem na uživatelský komfort v nevětraných prostorách.

Špatně naprogramovaná regulace: U jednoho ze zkoumaných zařízení diagnostika odhalila nastavení regulace střídavě požadující teplotu vzduchu na výstupu z jednotky 16 °C a 35 °C. Odhadovaná zmařená energie je 1 MWh tepla a 5 MWh chladu.

Chlazení vzduchu ohřívačem: Pravidlo 13 odhalilo, že zapnutím čerpadla ohřevu se výrazně sníží teplota přiváděného vzduchu. Pravidlo indikuje tyto možné závady: a) Problémy na hydraulických okruzích, unikání chladu do okruhu vytápění, b) simultánní neindikované spouštění chladiče, nebo c) špatné propojení regulace a SCADA. Ve VZT bylo vyplýtváno nejméně 2,5 MWh chladu neznámého původu.

Nefunkční směšovací ventil vytápění: Pravidlo 15 zaznamenalo opakující-se alarm na rozdílu teplot na vzduchu a otopném médiu. Alarm indikuje pravděpodobně potíže se směšovacím ventilem. V tomto režimu nevhodném pro životnost zařízení VZT běžela 1056 hodin.

Nekontrolované unikání tepla do VZT potrubí: Pravidlo 19 odhalilo opakující-se případy, kdy jednotka s aktivovaným chladičem vzduchu má na výstupu výrazně vyšší teplotu, než na vstupu. Jednalo se jen o 50 kWh tepla, ale zřídka používaný chladič tímto způsobem pracoval více než 50% provozní doby.

ZÁVĚR

Představený expertní systém odhaluje technické nebo regulační závady na jednokanálových VZT jednotkách. Sada sedmadvaceti diagnostických pravidel postihuje širokou škálu možných závad a selhání. Pravidla nenahrazují úsudek analytika, který hledá možné úspory v provozu vzduchotechnik. Mohou ale výrazně urychlit jeho práci a v případě implementace pravidel přímo do SCADA systému mohou i upozorňovat na aktuální problémy běžících zařízení.

Metoda diagnostiky pomocí expertních pravidel je nenáročná na vstupní data, což je její velká výhoda. Nevýhodou je, že některé diagnostikované závady nelze bez bližší znalosti místa dobře posoudit.

Expertní systém byl zkušebně nasazen na čtyři VZT jednotky, v různých budovách a s různým způsobem řízení. U tří z nich se dá říci, že obstály a pomocí diagnostiky je možné hledat možnosti ke zlepšení. V jednom případě jsou problémy zkoumaného zařízení za hranicemi možností této metody. Podle sbíraných dat se zdá, že zařízení téměř vůbec nefunguje a potřebuje revizi nebo přímo servisní zásah.

V další práci bude expertní systém rozšířen i na rovnotlaké větrací jednotky se zpětným získáváním tepla. Na ně nemůže být nyní nasazen, ale jedná se o oblast s velkým potenciálem na snižování energetické náročnosti a zvyšování komfortu uživatel.

LITERATURA

[1] Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, 2010.

[2] International Energy Agency. (1996). “Real-time HEVAC simulation”. 25

[3] International Energy Agency. (2002). “Computer-aided evaluation of HVAC system performance” 34

[4] KATIMPAMULA, S., BRAMBLEY, M.,R. Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems—A Review, Part I. *HVAC&R RESEARCH*, 11(1): 3 – 25, 2005

[5] BRUTON, K. et al. Review of automated fault detection and diagnostic tools in air handling units. *ENERGY EFFICIENCY*, 7 (2), 335-351, 2014, doi:10.1007/s12053-013-9238-2.

[6] LEE, S.H., YIL, F.W.H. A study on the energy penalty of various air-side system faults in buildings, ENERGY AND BUILDINGS, 42 (1): 2-10, 2010, doi:10.1016/j.enbuild.2009.07.004.

ZÁSADY SOUČINNOSTI POŽÁRNÍHO VĚTRÁNÍ S OSTATNÍMI POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍMI ZAŘÍZENÍMI

Jiří Pokorný

VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra ochrany obyvatelstva
jiri.pokorny@vsb.cz

ANOTACE

Příspěvek úvodem popisuje základní členění požárního větrání a nejvýznamnější požárně bezpečnostní zařízení, jejichž činnost souvisí s požárním větráním. Následně jsou popsány principy součinnosti aktivních a dalších požárně bezpečnostních zařízení, sestávající ze stanovení priority uvedení do činnosti, koordinace zařízení a jejich vzájemné interakce. S ohledem na druhy samočinných stabilních zařízení jsou prezentovány doporučené kombinační alternativy hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla. Kombinační alternativy respektují předpoklad maximálního omezení vzájemné negativní interakce. Součinnost zařízení pro odvod kouře a tepla bude popsána rovněž v kontextu dalších požárně bezpečnostních zařízení, které se v budovách vyskytují a mají význam z hlediska požárně bezpečnostních konceptů.

ÚVOD

Požární větrání je jedním z významných druhů zařízení, která se podílí na zajištění bezpečnosti staveb a osob, které se ve stavbách vykytují. Mezi nejvýznamnější cíle požárního větrání patří zajištění bezpečné evakuace osob, ochrana majetku, snížení tlaku a zajištění účinného hasebního zásahu [1].

Naplnění cílů, které byly důvodem návrhu požárního větrání, může být do značné míry ovlivněno dalšími požárně bezpečnostními zařízeními. Jiná požárně bezpečnostní zařízení, mohou ovlivnit činnost požárního větrání pozitivně nebo negativně.

Součinnost požárně bezpečnostních zařízení by měla být projektantem navržena tak, aby bylo dosaženo nejvyššího možného *pozitivního výsledku*.

POŽÁRNÍ VĚTRÁNÍ A JEHO ČLENĚNÍ

Požární větrání je ve smyslu předpisů požární ochrany *požárně bezpečnostním zařízením* (dále také „PBZ“). Požárně bezpečnostní zařízení jsou systémy, technická zařízení a výrobky pro stavby, podmiňující požární bezpečnost stavby nebo jiného zařízení [2].

Z hlediska požárně bezpečnostních zařízení je požární větrání klasifikováno jako zařízení pro *usměrňování pohybu kouře při požáru*, kde se zařazuje zařízení pro odvod kouře a tepla, zařízení přetlakové ventilace, kouřová klapka včetně ovládacího mechanismu, kouřotěsné dveře a zařízení přirozeného odvětrání kouře [2].

Zvláštní kategorií požárně bezpečnostních zařízení jsou *vyhrazená požárně bezpečnostní zařízení* [2]. Zařízení pro odvod kouře a tepla patří do kategorie vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení, zařízení pro větrání chráněných únikových cest jsou hodnocena jako požárně bezpečnostní zařízení [2, 3, 4, 5].

Pozornost v článku bude dále zaměřena na ZOKT a součinnost s jinými požárně bezpečnostními zařízeními.

STANDARDNÍ POSTUP HODNOCENÍ SOUČINNOSTI PBZ V ČESKÉ REPUBLICE

Problematika součinnosti požárně bezpečnostních a jiných zařízení se poprvé v národním standardu objevila v příloze B technické normy ČSN 73 0810 v roce 2005, kdy byly nadefinovány základní podmínky účinnosti a funkčnosti vybraných požárně bezpečnostních zařízení, zejména elektrické požární signalizace, stabilních hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla. Znění přílohy této normy bylo zaměřeno převážně na řešení zásad koordinace zařízení a opatření v jednotlivých prostorách, požárních úsecích nebo technologických provozech. Aktivaci požárně bezpečnostních zařízení a jejich interakci se příloha věnovala spíše okrajově [7].

V průběhu let 2015 a 2016 byla ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení revidována [6]. Jedna z významných úprav se týkala rovněž přílohy B uvedené normy, která řeší součinnost aktivních požárně bezpečnostních a jiných zařízení.

Aktivními zařízeními rozumíme požárně bezpečnostní zařízení, od kterých se očekává samočinné uvedení do činnosti na základě zvolených parametrů, automatické provedení určitých úkonů a vytvoření podmínek pro zajištění bezpečnosti osob, účinného hasebního zásahu, ochrany majetku a životního prostředí [6].

Součinnost požárně bezpečnostních zařízení je významnou součástí posuzování staveb z hlediska požární bezpečnosti (např. [8, 9]).

PRINCIPY SOUČINNOSTI POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍCH ZAŘÍZENÍ

Rozsáhlé nebo rizikové stavby jsou charakteristické současnou instalací více druhů aktivních požárně bezpečnostních zařízení v jednom prostoru nebo požárním úseku. Kumulace těchto zařízení v jednom prostoru vyvolává potřebu:

- stanovení priority uvedení zvoleného zařízení do činnosti,
- návrhu koordinace zařízení,
- posouzení interakce zařízení.

Součinnost požárně bezpečnostních zařízení je znázorněna na obr. 1.

Obr. 1 *Součinnost požárně bezpečnostních zařízení [10]*

Prioritou se rozumí určení zařízení, které bude uvedeno do činnosti jako první, a to na základě vyhodnocení zvolených kritérií. Ostatní zařízení jsou uvedena do činnosti následně.

Koordinací požárně bezpečnostních zařízení se rozumí smysluplné nastavení časové posloupnosti uvádění jednotlivých zařízení do činnosti. Cílem je volba posloupnosti, která povede v maximální míře k dosažení zvolených ochranných cílů.

Interakcí požárně bezpečnostních zařízení se rozumí vzájemné ovlivnění působení (činnosti) zařízení, a to v jejich pozitivním nebo negativním smyslu. Cílem je zamezit vzájemnému negativnímu ovlivnění činnosti jednotlivých zařízení.

Z pohledu priority, koordinace a interakce požárně bezpečnostních zařízení jsou zpravidla řešeny zejména elektrická požární signalizace, včetně zařízení dálkového přenosu, samočinné stabilní hasicí zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla. Především ve výrobních prostorách, jsou součástí posouzení koordinace a interakce zařízení také zařízení pro detekci hořlavých plynů a par a automatická protivýbuchová zařízení. Součástí posouzení součinnosti vyhrazených požárně bezpečnostních zařízení je také vazba na ostatní instalovaná požárně bezpečnostní zařízení a technická zařízení budov [6, 11, 12].

HODNOCENÍ INTERAKCE ZOKT A SSHZ

V rámci posouzení interakce požárně bezpečnostních zařízení je nezbytné předvídat možné jevy, které mohou při součinnosti jednotlivých druhů požárně bezpečnostních zařízení nastat [6]. Cílem hodnocení je především *zamezit negativní interakci* zařízení. V některých případech může vzájemným působením zařízení dojít *k omezení* plnění jejich funkce, v jiných *k úplnému vyloučení*.

Přípustnost kombinací požárně bezpečnostních zařízení je ovlivněna principem funkce těchto zařízení a fyzikálními nebo chemickými jevy, které činnosti uvedených zařízení doprovází.

Doporučené kombinační možnosti z hlediska interakce ZOKT a SSHZ jsou v rámci návrhových standardů v České republice řešeny v ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení [6]. Návrhové zásady byly stanoveny na základně zahraničních a národních zkušeností (např. [13, 14, 15]), při zohlednění návrhových předpisů (např. [16, 17]).

Kombinační možnosti byly navrženy v kategoriích „zpravidla přípustná“, „zpravidla přípustná (uvedení do činnosti jednotkami požární ochrany)“, „nutné zajistit průkaz zkouškou jinak nepřípustná“, „zpravidla nepřípustná“ a „nepřípustná“. Termín „zpravidla“ umožňuje zohlednění specifických podmínek individuálních staveb (odchylné řešení od tab. 1 má být však v požárně bezpečnostním řešení zdůvodněno). Je obtížné předvídat všechny možné alternativy návrhů.

Zařízení jsou uváděná do činnosti *samočinně, manuálně* nebo *kombinací* obou způsobů. Forma uvedení do činnosti ovlivňuje volbu priority zařízení, jejich koordinaci a interakci. Výhradně manuální uvedení některého ze zařízení do činnosti je voleno v případech, kdy samočinné spouštění zařízení může způsobit negativní vzájemné působení (např. samočinné spuštění ZOKT při současné instalaci sprinklerů ESFR) [6].

Doporučené kombinační možnosti jednotlivých druhů samočinných stabilních hasicích zařízení a forem spouštění zařízení pro odvod kouře a tepla jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 *Doporučené kombinační možnosti jednotlivých druhů SSHZ a ZOKT [6]*

Druh SSHZ	Spouštění ZOKT	Kombinace
Sprinklerová stabilní hasicí zařízení	Samočinné nebo manuální spouštění	Zpravidla přípustná
Sprinklery ESFR (Early Suppression Fast Response) Sprinklery CMSA (Control mode specific application)	Samočinné spouštění	Nepřípustná
	Manuální spouštění	Zpravidla přípustná (uvedení do činnosti jednotkami požární ochrany)
Sprejová stabilní hasicí zařízení	Samočinné nebo manuální spouštění	Zpravidla přípustná
Mlhová vysokotlaká stabilní hasicí zařízení	Samočinné spouštění	Nutné zajistit průkaz zkouškou jinak nepřípustná
	Manuální spouštění	Zpravidla přípustná (uvedení do činnosti jednotkami požární ochrany)
Mlhová nízkotlaká a středotlaká stabilní hasicí zařízení	Samočinné nebo manuální spouštění	Zpravidla přípustná
Pěnová stabilní hasicí zařízení	Samočinné nebo manuální spouštění	Zpravidla přípustná
Plynová stabilní hasicí zařízení	Samočinné spouštění	Nepřípustná
	Manuální spouštění	Zpravidla přípustná (uvedení do činnosti jednotkami požární ochrany)
Prášková stabilní hasicí zařízení	Samočinné spouštění	Zpravidla nepřípustná
	Manuální spouštění	Zpravidla přípustná (uvedení do činnosti jednotkami požární ochrany)
Aerosolová stabilní hasicí zařízení	Samočinné spouštění	Nepřípustná
	Manuální spouštění	Zpravidla přípustná (uvedení do činnosti jednotkami požární ochrany)

DISKUZE

Projektové řešení interakce požárně bezpečnostních zařízení je založeno na vzájemné spolupráci odborníků na požární bezpečnost staveb, stabilní hasicí zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla. Ve vztahu k zajištění účinného hasebního zásahu, a mnohdy nejen v těchto případech, je nezbytné respektovat názor místně příslušného hasičského záchranného sboru kraje. V některých případech je optimální návrh „výsledem kompromisním“.

Hodnocení interakce požárně bezpečnostních zařízení je již mnoho let předmětem diskuze odborníků zabývajících se požární bezpečnosti staveb a technických zařízení budov. Na interakci ZOKT a SSHZ neposkytují jednoznačná pravidla mezinárodní (např. [1]), ani národní standardy (např. [6]). Důvodem je pravděpodobně především značná variabilita situací, které se mohou v praxi vyskytnout.

V obecné rovině je možné využít postupů uvedených v ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení [6].

Součinnost sprinklerových stabilních hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla je při samočinném i manuální spouštění zpravidla přípustná a nekonfliktní. Působením zařízení pro odvod kouře a tepla však může docházet k aktivaci zvýšeného počtu sprinklerů a tím ke zvýšení požadavků na celkový přítok vody a pokles hasební účinnosti. Opačně, působením vodních stabilních hasicích zařízení dochází k ochlazování kouře a snížení vztlaku, což vede ke snížení účinnosti zařízení pro odvod kouře a tepla.

Součinnost proudového větrání a samočinných sprinklerových stabilních hasicích zařízení není v současné době dostatečně prověřena. Při činnosti proudového větrání může z důvodu vysoké rychlosti proudění docházet k vychýlení vodního proudu sprinklerů mimo ohnisko požáru. Současně je pravděpodobné uvedení do činnosti sprinklerových hlavic mimo ohnisko požáru. Kombinaci proudového větrání a samočinných sprinklerových zařízení je nutné posuzovat individuálně. Obdobně je nutné postupovat při hodnocení větrání v případě úniku plynů, které slouží jako alternativní pohon vozidel.

Činnost sprinklerů ESFR a CMSA může být významně negativně ovlivněna činností zařízení pro odvod kouře a tepla. Zařízení pro odvod kouře a tepla může způsobit otevření většího počtu hlavic, než je žádoucí nebo sousedních hlavic (mimo ohnisko požáru) z důvodu odklonění kouře. Vzhledem k vysoké účinnosti těchto sprinklerů a tím také vysoké dodávky vody, může dojít k předčasnému vyčerpání vodního zdroje. Samočinné spouštění zařízení pro odvod kouře a tepla není přípustné. Zařízení lze uvádět do činnosti manuálně jednotkami požární ochrany.

Součinnost sprejových stabilních hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla je při samočinném i manuálním spouštění zpravidla přípustná.

Manuální spouštění zařízení pro odvod kouře a tepla a mlhových stabilních hasicích zařízení jednotkami požární ochrany je zpravidla přípustné. Samočinné uvedení zařízení pro odvod kouře a tepla do činnosti při součinnosti s vysokotlakými mlhovými hasicími zařízeními je nutné prokázat zkouškou. Samočinné uvedení zařízení pro odvod kouře a tepla do činnosti při součinnosti s nízkotlakými a středotlakými mlhovými hasicími zařízeními je zpravidla přípustné. Posouzení možné negativní interakce mlhových stabilních hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla je nutné věnovat zvláštní pozornost. Usměrnění proudění kouře působením zařízení pro odvod kouře a tepla může způsobit vychýlení jemných kapek hasicího zařízení nebo zamezit jejich proniknutí do ohniska požáru a tím může docházet k významnému omezení působení stabilního hasicího zařízení.

Součinnost pěnových stabilních hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla je zpravidla přípustná. Problematické mohou být případy s hasicími zařízeními na lehkou pěnu.

Součinnost plynových stabilních hasicích zařízení nebo aerosolových stabilních hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla je při samočinném spouštění nepřípustná. Plynová a aerosolová stabilní hasicí zařízení vyžadují těsný prostor zabraňující snížení hasební koncentrace. Zařízení pro odvod kouře a tepla lze uvádět do činnosti manuálně jednotkami požární ochrany.

Součinnost práškových stabilních hasicích zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla je při samočinném spouštění zpravidla nepřípustná. Prášková stabilní hasicí zařízení vyžadují těsný prostor zabraňující snížení hasební koncentrace. Pro hašení požárů jednotkami požární ochrany může být v některých případech účelné následné větrání prostoru zařízením pro odvod kouře a tepla, které je do činnosti uváděno manuálně těmito jednotkami.

Při hodnocení interakce zařízení je nezbytné zohlednit také vliv ostatních požárně bezpečnostních zařízení (např. požárních uzávěrů otvorů a mechanismus jejich uzavření) a technických zařízení budov (např. vzduchotechnických zařízení).

ZÁVĚR

Součinnost požárně bezpečnostních zařízení je aktuálním a stále diskutovaným tématem. Článek popisuje dílčí částí součinnosti uvedených zařízení, přičemž je pozornost primárně zaměřená na oblast interakce zařízení.

Přestože ani dnes, po mnoha letech analytických rozborů, dílčích závěrů vytvořených odborníky a širokých diskuzí nelze na některé otázky poskytnou zcela uspokojující odpověď, je možné charakterizovat zásady návrhu, které vedou k efektivnímu návrhu součinnosti požárně bezpečnostních zařízení. Návrhové zásady byly popsány a diskutovány v tomto článku.

Revizí ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení korespondují národní návrhové standardy součinnosti požárně bezpečnostních zařízení se zahraniční filosofií.

LITERATURA

[1] ČSN P CEN/TR 12101-5 Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla - Část 5: Směrnice k funkčním doporučením a výpočetním metodám pro větrací systémy odvodu kouře a tepla. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.

[2] *Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění vyhlášky č. 221/2014 Sb.* [online]. [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246.

[3] POKORNÝ, J., TOMAN, S. *Požární větrání – Větrání únikových a zásahových cest*. Edice SPBI Spektrum 75 vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. 111 s. ISBN 978-80-7385-104-0.

[4] *Metodický postup pro ověřování funkčnosti požárního odvětrání - Hasičský záchranný sbor České republiky* [online]. [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: http://www.hzscr.cz/clanek/metodicky-postup-pro-overovani-funkcnosti-pozarniho-odvetrani.aspx.

[5] POKORNÝ, J. Výkon státní správy HZS ČR se zaměřením na požární větrání. In: *Sborník příspěvků z 21. konference Klimatizace a větrání*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2014, s. 165–170, ISBN 978-80-02-02520-7.

[6] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

[7] POKORNÝ, J., KUČERA, P. Moderní principy součinnosti aktivních požárně bezpečnostních zařízení v pojetí kodexu norem požární bezpečnosti staveb. In: *Sborník přednášek XXV. ročníku mezinárodní konference Požární ochrana 2016*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, ve spolupráci s Českou asociací hasičských důstojníků, 2016, s. 199 – 201, ISBN 978-80-7385-177-4.

[8] ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

[9] ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[10] POKORNÝ, J. Nové trendy součinnosti aktivních požárně bezpečnostních zařízení v příkladech. In: *Sborník přednášek z konference Červený kohout*. České Budějovice: Dům techniky České Budějovice, 2017, s. 1–7, ISBN 978-80-02-02708-9.
[11] POKORNÝ, J. Principles of prioritizing implementation steps to put into the operation smoke and heat removal devices and the other active fire safety devices. *Vytápění, Větrání, Instalace*. 2016, roč. 25, č. 1, s. 50–53. ISSN 1210-1389.
[12] KUČERA, P., POKORNÝ, J., PAVLÍK, T. *Požární inženýrství - aktivní prvky požární ochrany*. Ostrava: Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství), 2013. 109 s. ISBN 978-80-7385-136-1.
[13] HOSSER, D. *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes* [online]. Braunschweig: Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 2013. 419 s. Technischer Bericht TB 04/01., 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Dostupné z: http://www.kd-brandschutz.de/files/downloads/Leitfaden2013.pdf.
[14] DINENNO, Philip J., NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 4th ed vyd. Quincy, Mass. : Bethesda, Md: National Fire Protection Association ; Society of Fire Protection Engineers, 2008. 1 s. ISBN 978-0-87765-821-4.
[15] *VdS 2815 Zusammenwirken von Wasserlöschanlagen und Rauch-und Wärmeabzugsanlagen (RWA)* [online]. [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: http://www.fvlr.de/downloads/VdS-Merkblatt_2815.pdf.
[16] ČSN EN 12845 Stabilní hasicí zařízení - Sprinklerová zařízení - Navrhování, instalace a údržba. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
[17] ČSN P CEN/TS 14972 Stabilní hasicí zařízení - Mlhová zařízení - Navrhování a instalace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory projektu Ministerstva vnitra České republiky č. VI20162019034 Výzkum a vývoj ověřených modelů požáru a evakuace osob a jejich praktická aplikace při posuzování požární bezpečnosti staveb.

PŘÍVOD VZDUCHU S NEJNIŽŠÍ MOŽNOU INDUKCÍ

Zdeněk Příhoda, Michal Bureš, Lukáš Kadrmas

Příhoda s. r. o.

director@prihoda.com, development@prihoda.com, sales@prihoda.com

ANOTACE

Nejnižší možnou indukcí rozumíme minimální mísení okolního vzduchu do přiváděného. Podaří se ho dosáhnout oddělením proudu z přívodní vyústky pomocí zástěn. Vzduch ovšem musí být přiváděn vhodným způsobem, nízkou rychlostí. Tím zajistíme minimální přetlak v prostoru za zástěnou. Řešení se dá využít pro bodový i plošný přívod vzduchu. Ve všech případech bylo použito prodyšných nebo neprodyšných tkanin, pro distribuci vybavených otvory o průměru 0,2 až 0,4 mm.

PROČ USILOVAT O NÍZKOU INDUKCI

Zřejmě ve většině případů přívodu vzduchu je výhodné dosažení maximálního mísení s okolním vzduchem, tedy vysokého indukčního poměru. Sníží se tím dosahy proudů a zrovnoměrní rozložení teplot ve větraném prostoru. Existuje ovšem i řada provozů, kde je žádoucí směšování v co největší míře zabránit. Rozlišíme zde 3 případy možných motivací, které následně podrobněji popíšeme na realizovaných akcích.

a) Bodové chlazení

Svislý proud vzduchu s kruhovým průřezem klesající na místo s požadavkem intenzivního chlazení.

b) Oblastní chlazení

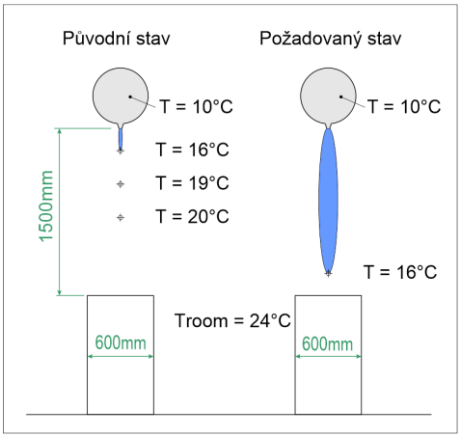
Svislý plochý proud vzduchu klesající v pásu na oblast s požadavkem intenzivního chlazení.

c) Čerstvý vzduch bez příměsí z okolí

Svislý proud vzduchu směrovaný bezprostředně na osoby, aby jim bylo umožněno dýchání nekontaminovaného vzduchu.

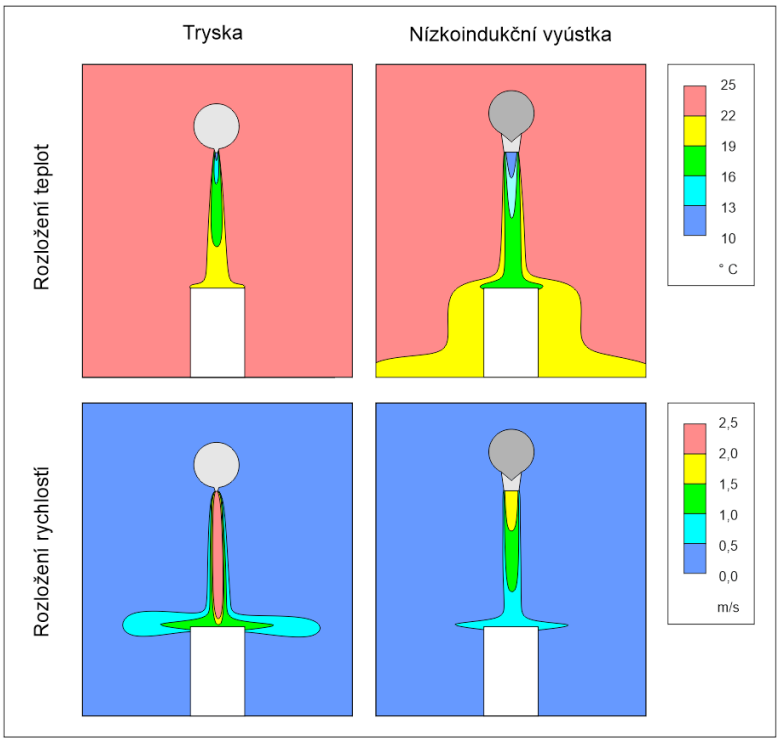
BODOVÉ CHLAZENÍ

Zadáním bylo přivést z výšky 1,5 m na stůl s výrobkem co nejchladnější vzduch co nejnižší rychlostí. Rozměry jsou patrné z obrázku 1.



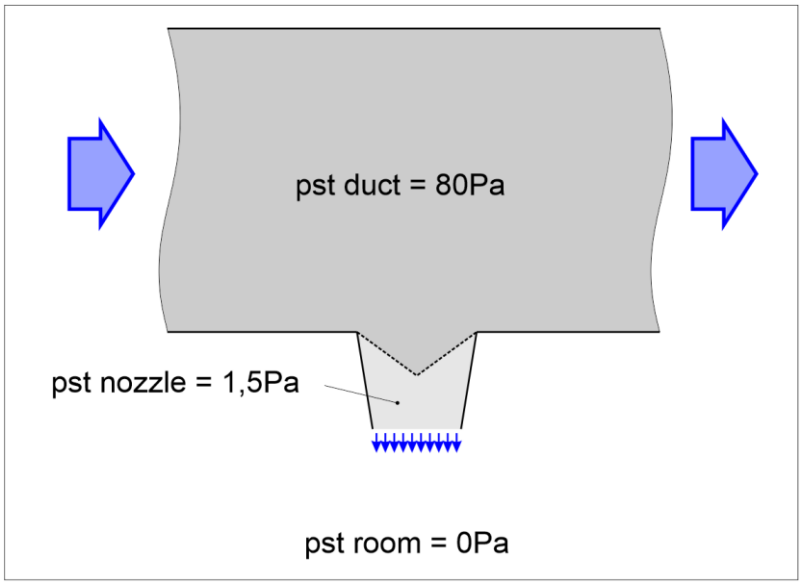
Obr. 1 *Schéma zadání úkolu*

Teplota přiváděného vzduchu ve vyústce je 10 °C, teplota okolního vzduchu v místnosti pak 24 °C. Při použití běžné trysky teplota přívodu vlivem mísení rychle stoupá a dosáhne zhruba 20 °C na stole. Rychlost proudění tamtéž bude zhruba 2 m/s. Obě hodnoty jsou příliš vysoké a uživatel požadoval jejich snížení, jak jen to půjde. Použitím speciální konstrukce přívodu vzduchu se podařilo snížit teplotu na zhruba 16 ° C při rychlosti pod 1 m/s, což bylo příznivě přijato. Obrázek 2 dokumentuje rozdíl použití běžné přívodní trysky a nízkoindukční vyústky za jinak zcela stejných podmínek.



Obr. 2 *Teplotní pole při použití běžné a upravené vyústky*

Obrázek 3 je schématem potřebné úpravy přívodní vyústky.

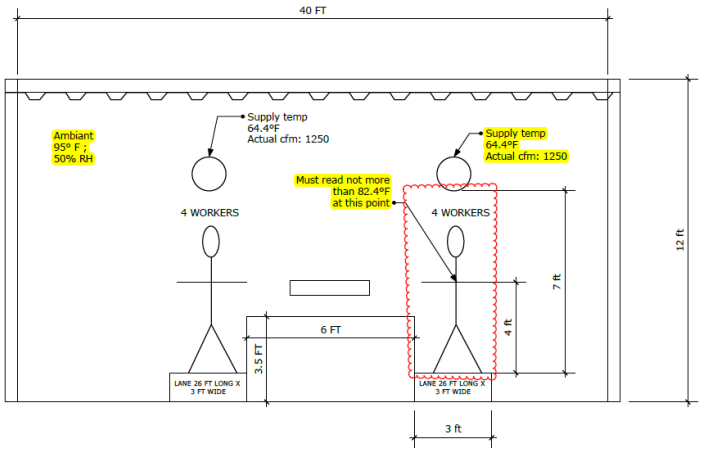


Obr. 3 *Konstrukce přívodní vyústky*

V podstatě jde o dlouhou odbočku z hlavní větve potrubí, která je na svém začátku vybavená kónickou mikroperforovanou přepážkou. Důležité jsou tlakové poměry vepsané do schématu. Nízký tlakový rozdíl 1,5 Pa znamená nízkou výstupní rychlost a nízkou indukci. Přepážka na vstupu do odbočky zajistí rovnoměrný výtok při použití více výstupních prvků na stejném potrubí a zároveň zrovnoměrní proudění. Průtok vzduchu činí pouze 100 m^3/h, chladící výkon 471 W. Nízkoindukční vyústka musí mít délku minimálně rovnou dvojnásobku svého průměru. Rychlost na výstupu z ní dosahuje 1,5 m/s. Její kónický tvar je důležitý vzhledem k použití tkaniny. Nezkosená odbočka by mohla vibrovat.

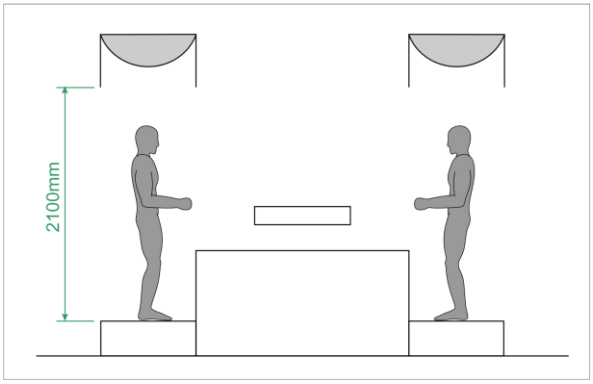
OBLASTNÍ CHLAZENÍ

Požadavkem bylo zajistit chlazení pro osoby u pásu výrobní linky. Zákazník poslal zadání ve formě skici.

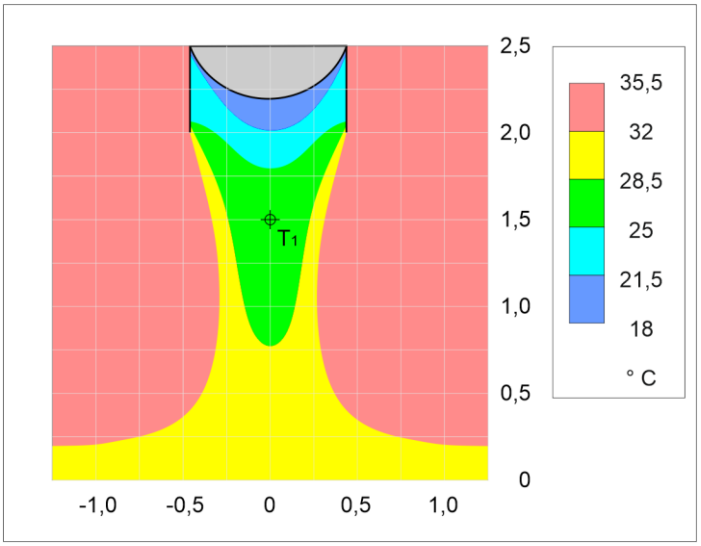


Obr. 4 *Schématické zadání úkolu*

Uvažovaná teplota vzduchu v hale je 35 °C, teplota přiváděného vzduchu 18 °C. Čtyři osoby stojí na stupínku podél linky o délce 8 m. Požaduje se zajistit jim teplotu 28 °C ve výšce 1,5 m nad zemí, přičemž horní hrana přívodu je 3,1 m vysoko. Pracujeme s průtokem 2200 m^3/h. Použili jsme textilní vyústku o průřezu úseče kruhu s rozměrem základny 914 mm a výškou 305 mm. Je vybavena rovnoměrnou mikroperforací a vzduch je do ní přiváděn seshora dvěma vstupy do zadní ploché části. Je instalována do rámu z hliníkových profilů zavěšených 2,0 m nad pásem. Vyústka je ze všech stran lemována spuštěným pásem tkaniny, který zamezuje indukci vzduchu z okolí. Pro umožnění přístupu obsluhy je délka závěsu pouze 0,5 m, ačkoliv delší závěs by ještě zvýšil účinnost. Zkoušeli jsme přívod do vyústky podélně, na jednom jejím konci a seshora, v polovině délky. Přívod seshora se ukázal jako výhodnější pro rovnoměrnost distribuce. Schéma zařízení ukazuje obrázek **5**, teplotní poměry obrázek **6.**



Obr. 5 *Schéma navrženého řešení*

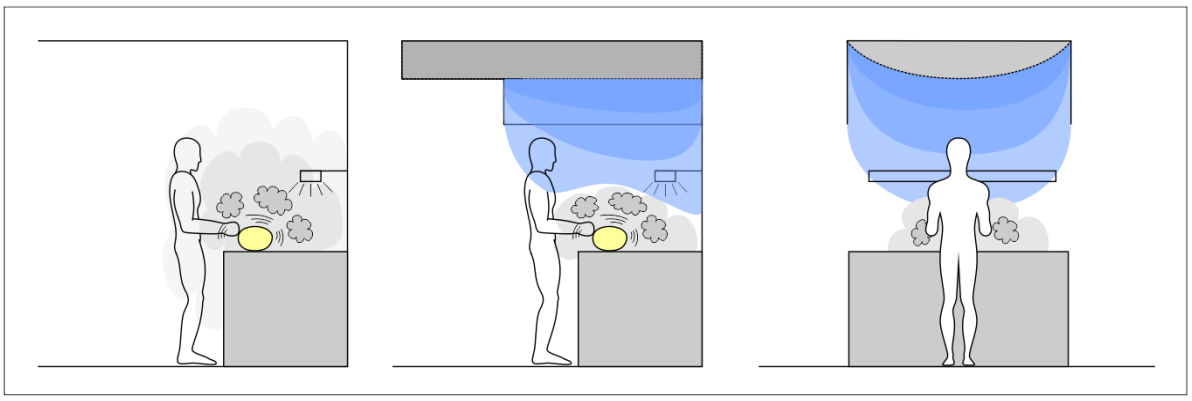


Obr. 6 *Teplotní pole u výrobní linky*

Podařilo se dosáhnout teploty T_1 = 26,5 ° C, což je velký rozdíl oproti 35 ° C v okolí. Vzhledem k dlouhodobému pobytu osob v této zóně a nízkým rychlostem proudění vysoký teplotní rozdíl nepůsobí problémy.

ČERSTVÝ VZDUCH BEZ PŘÍMĚSÍ Z OKOLÍ

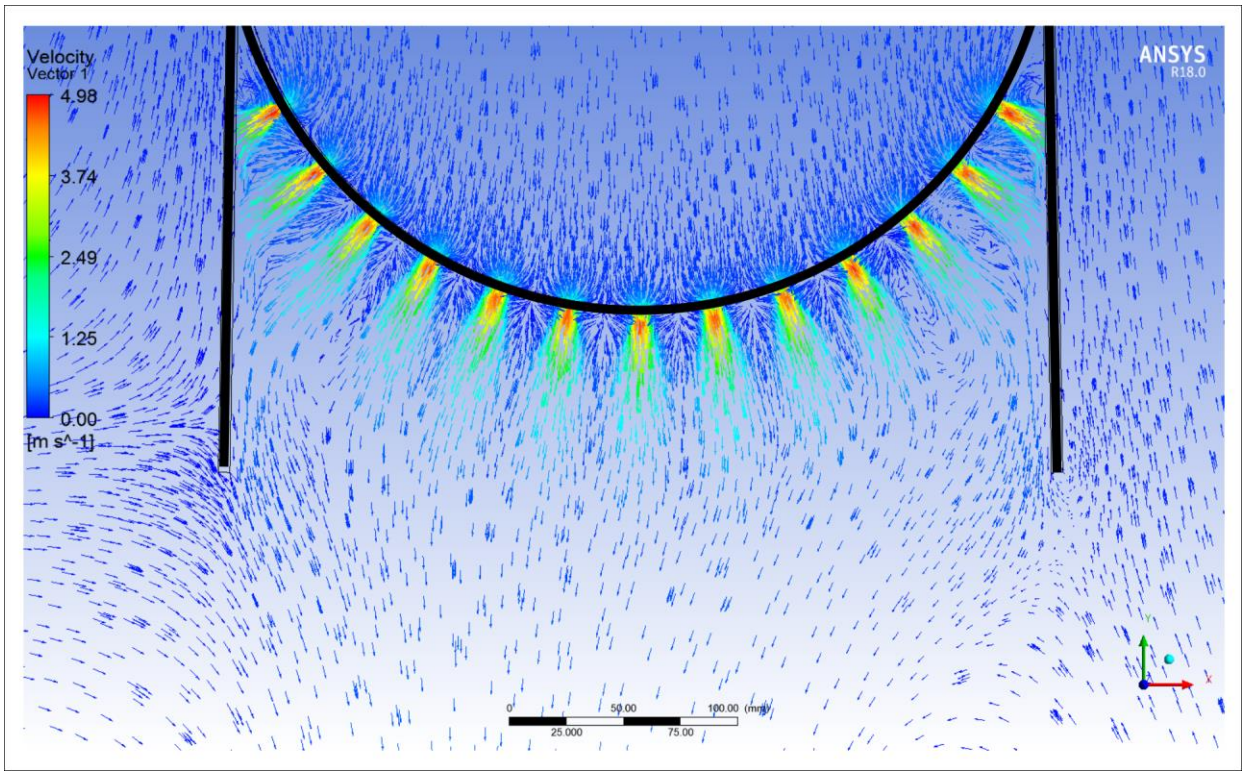
V tomto případě šlo o snížení prašnosti pro pracovníky v potravinářském provoze, kde jsou extrémně vysoké hodnoty koncentrace jemného prachu. Ručně se zde zpracovává těsto, z kterého se při manipulaci rozptyluje do okolí velké množství mouky. Vzhledem k výrobě na větší ploše stolů a nutnosti dobrého přístupu prakticky není možné zařídit účinné místní odsávání. Jako jediné schůdné řešení byl vybrán přívod bezprostředně nad osoby, který ovšem bude maximálně izolován od okolí, aby neindukoval prach. Podobně jako v minulém případě je pro distribuci použita úsečová textilní vyústka s mikroperforací, na jejíchž bocích jsou svěšené krátké zástěny. Každé jiné řešení než plošný přívod by vzhledem k více než čtyřicetinásobným výměnám vzduchu způsobilo nepřijatelný průvan. Přiváděný vzduch by do sebe indukoval prašnost z okolí a tím by byl znehodnocen. Obrázek **7** ukazuje vlevo situaci před instalací přívodu a vpravo výsledný stav. Nedošlo k podstatnému ovlivnění celkové prašnosti v prostoru, ale kvalita dýchaného vzduchu se výrazně zlepšila.



Obr. 7 *Schéma situace v provoze*

Další obrázek (8) ukazuje typické vektorové pole pro výše popsaná řešení nízkoindukčního přívodu. Zde jsou použity otvory o větším průměru, které by v některých případech také

dobře posloužily. Jednotlivé proudy ale nesmí být natolik silné, aby způsobily indukci vzduchu do prostoru za zástěnou.



Obr. 8 *Vektorové pole rychlostí nízkoindukční vyústky*

ZÁVĚR

Velmi jednoduchým a levným opatřením lze výrazně snížit přimíchávání okolního vzduchu do čerstvého. Stačí k tomu vhodně použít zástěny, které mohou být z fólií nebo tkanin a snížit přívodní rychlost ve vyústkách na minimum. Úspory provozních i investičních nákladů mohou být značné. Všechny popsané případy byly vedeny snahou o nalezení chytrého řešení, zacíleného na podstatu problému. Řešili jsme jedno konkrétní místo, nikoliv celý prostor.

LITERATURA

[1] CHYSKÝ J., HEMZAL K. *Technický průvodce 31 – Větrání a klimatizace.* Bolit Brno, 1993

SPOTŘEBA ENERGIE NA CHLAZENÍ BUDOV

Jakub Šimek[1], **Miloš Lain**[1,2]

[1]ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
[2]ČVUT v Praze, UCEEB, RP02
jakub.sb.simek@gmail.com; milos. lain@fs.cvut.cz

ANOTACE

Spotřeba energie na chlazení budov tvoří v současné době významnou položku ve spotřebě energií budov, která činí téměř 40 % veškeré světové spotřeby energie [1]. Příspěvek ukazuje na důležitost monitoringu spotřeb pro chlazení, jako prostředku k možným úsporám energie. V příspěvku jsou prezentovány reálné spotřeby na chlazení patnácti vybraných objektů měřených po dobu zpravidla pěti let a následně jsou uvedeny výsledky analýzy naměřených dat.

ÚVOD

Snižování energetické náročnosti budov je jednou ze současných priorit Evropské Unie i České republiky. Jednou z významných položek spotřeby energie všech moderních budov je spotřeba na chlazení, případně klimatizaci v letních měsících. Této problematice však v České republice není věnována dostatečná pozornost a naprosto chybí jakékoliv seriózní údaje o spotřebách či měrných spotřebách pro chlazení budov. Měrné spotřeby energie budov na chlazení a klimatizace pak především chybí při detailním posuzování energetické náročnosti budov a kontrolách klimatizačních systémů podle již platné české legislativy [2].

Tento příspěvek má za cíl prezentovat měrné spotřeby na chlazení, získané měřením v reálném provozu patnácti budov po dobu zpravidla pěti let. V příspěvku jsou dále hodnoceny možné vlivy na spotřeby energie na chlazení a ukázány výsledky analýzy naměřených dat. Na základě výsledků analýz je poukázáno na hlavní prostředky, které se ukázaly jako zásadní pro možnost snižování spotřeb na chlazení.

MĚŘENÍ SPOTŘEB

Spotřeba na chlazení byla měřena celkem u patnácti objektů situovaných převážně v Praze. Mezi hodnocenými budovami byly objekty různého typu (knihovna, obchodní dům, hotel), velikosti i stáří, především se však jednalo o moderní administrativní budovy. Zastoupena byla také celá řada klimatizačních systémů, přičemž nejčastější byl vodní klimatizační systém s ventilátorovými konvektory v kombinaci se vzduchotechnikou pro přívod čerstvého vzduchu. Spotřeba energie na chlazení je v případě měřených objektů reprezentována spotřebou elektrické energie zdrojů chladu, které byly v předchozích letech osazeny měřením a které tvoří zcela zásadní složku spotřeby energie na chlazení. V případě většiny objektů byly získány údaje o spotřebě zdrojů chladu během let 2012 až 2016, a to v detailních patnáctiminutových intervalech.

Obecně lze volit různé intervaly měření spotřeb, pro hrubé energetické hodnocení stačí i měsíční spotřeby el. energie, ale pouze detailnější (např. 15 minutová) data umožňují i optimalizace a hledání chyb při provozování klimatizačního systému a zdroje chladu.

Sběr a zpracování dat z jednotlivých budov bylo poměrně náročné především díky častým výpadkům měření a chybějícím datům v některých budovách. Několik monitorovaných budov nemohlo dokonce být kvůli nedostatkům v monitorování do výsledků zahrnuto, u jiných chybí jen některé roky, či měsíce.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledky měření jsou prezentovány ve formě měrných spotřeb elektrické energie zdrojů chladu. Spotřeby energie byly vztaženy ke klimatizovaným podlahovým plochám. Zde je na místě upozornit na důležitost zvolení metodicky správných a jednotných vztažných ploch, jejichž vliv byl také analyzován. Pro vyhodnocení spotřeb nelze využít energeticky vztažné podlahové plochy snadno dostupné z průkazů energetické náročnosti budov, neboť se jedná o vnější půdorysnou plochu s upravovaným vnitřním prostředím, které se od klimatizované plochy značným způsobem liší. Pro obdržení objektivních a porovnatelných měrných spotřeb na chlazení je tak nutné naměřené spotřeby vztáhnout přímo ke klimatizované ploše objektu, kterou však v mnoha případech není jednoduché získat.

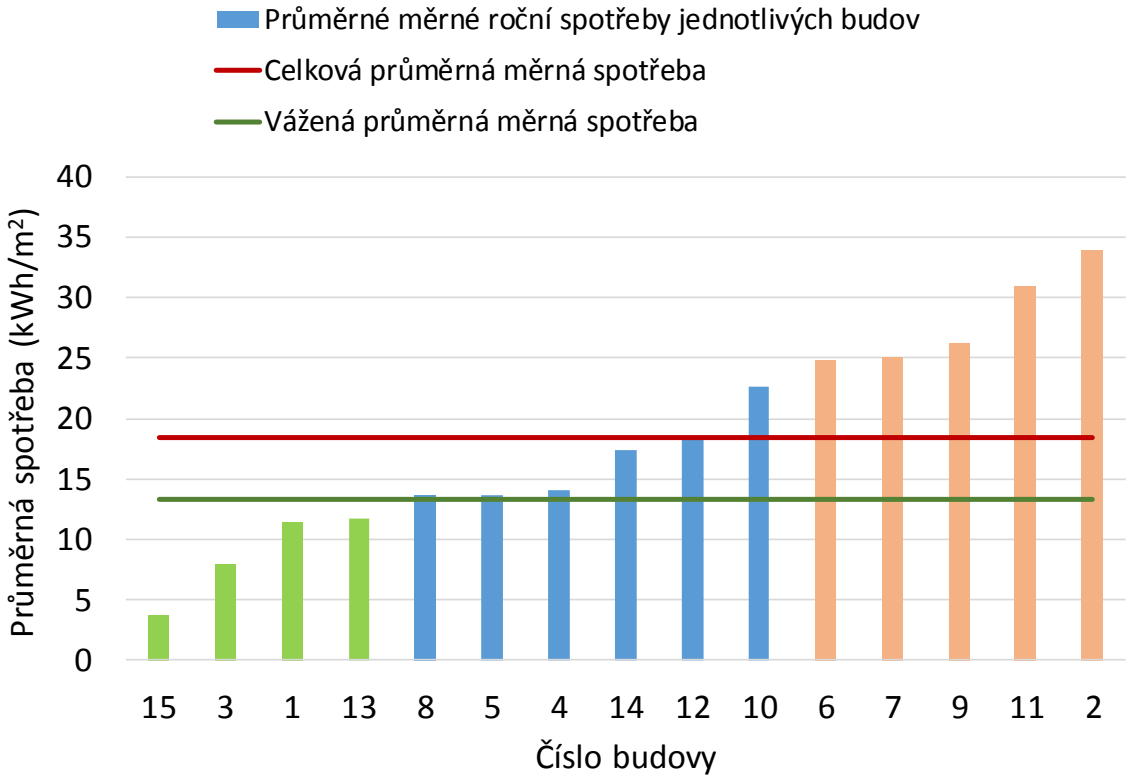
Výsledky průměrných ročních měrných spotřeb na chlazení v jednotlivých letech, včetně přehledu dat jsou patrné z níže uvedené tab. 1.

Tab. 1 *Přehled budov a jejich měrných spotřeb elektrické energie zdrojů chladu.*

Číslo budovy	Typ budovy	Spotřeba 2012 [kWh/m^2]	Spotřeba 2013 [kWh/m^2]	Spotřeba 2014 [kWh/m^2]	Spotřeba 2015 [kWh/m^2]	Spotřeba 2016 [kWh/m^2]	Průměrná spotřeba [kWh/m^2]
1	Admin.	11,5					11,5
2	Admin.	37,4	35,1	28,9	34,6	33,7	33,9
3	Obchod. dům	11,0	6,7	7,9	8,1	6,2	8,0
4	Admin.	16,6	13,7	12,2	13,7	13,8	14,0
5	Admin.		15,4	16,2	13,6	9,6	13,7
6	Admin.	25,9	23,3	24,2	27,1	24,0	24,9
7	Admin.	32,5	22,0	28,0	16,9	26,2	25,1
8	Admin.	14,2	15,0	11,9	14,8	12,4	13,7
9	Admin.	33,1	24,4	27,1	25,1	21,4	26,2
10	Hotel		22,6	16,3	28,3	23,2	22,6
11	Admin.	32,7	35,2	30,1	25,7	30,8	30,9
12	Admin.		16,6	19,3	19,7		18,5
13	Admin.	12,3	10,4	11,4	12,2	8,5	11,8
14	Admin.	14,7	11,1	22,4	21,0	18,1	17,5
15	Veřejná	4,5	2,3	1,9	6,5	6,6	3,7
				Průměrná spotřeba [kWh/m^2]			
		22,4	17,1	17,5	18,1	16,7	18,4

Na obr. 1 jsou graficky vyjádřeny průměrné spotřeby jednotlivých objektů za celé sledované období, včetně vyznačené celkové průměrné měrné spotřeby, která činí 18,4 kWh/m^2 a vážené (přes klimatizovanou podlahovou plochu) průměrné měrné spotřeby, jejíž hodnota je 13,4 kWh/m^2. Jak je z grafu zřejmé, přestože většina budov je stejného typu (administrativní viz tab. 1), vyhodnocené měrné spotřeby se značným způsobem liší. Rozptyl průměrných

měrných spotřeb objektů je od 3,7 kWh/m^2 do 33,9 kWh/m^2. Budovy byly dle odchylky jejich měrné spotřeby od celkové průměrné spotřeby rozděleny do tří kategorií, a to na budovy s nízkou spotřebou (odchylka větší než 35 %), se střední spotřebou (odchylka do 35 %) a na budovy s vysokou spotřebou (odchylka větší než 35 %).



Obr. 1 *Průměrné měrné roční spotřeby jednotlivých budov*

ANALÝZA SPOTŘEB

Na základě naměřených spotřeb elektrické energie na chlazení byla provedena analýza a hodnocení dopadů různých vlivů na velikost spotřeby. Analýza byla provedena na základě rozboru a porovnání stavebně technických řešení jednotlivých objektů a způsobu jejich provozování (především zdrojů chladu) ve vztahu k naměřeným spotřebám. Dále byl hodnocen dopad vnějších vlivů (vliv klimatu). Pro možnost objektivního porovnání byly hodnoceny pouze administrativní budovy, díky čemuž lze vyloučit zkreslení výsledů vlivem různého charakteru a typu provozu objektu [3].

Postupně byl hodnocen vliv prosklení, stínění, typu klimatizačního systému, zdroje chladu (dle EER), vliv akumulace chladu, free coolingu, způsobu řízení klimatizačního systému a dále pak vliv klimatu v podobě venkovní teploty. Z uvedených vlivů bylo možné prokázat pouze vliv stínění, provozování klimatizačního systému a vliv klimatu. Tyto tak lze považovat za zásadní vlivy na velikost spotřeby na chlazení.

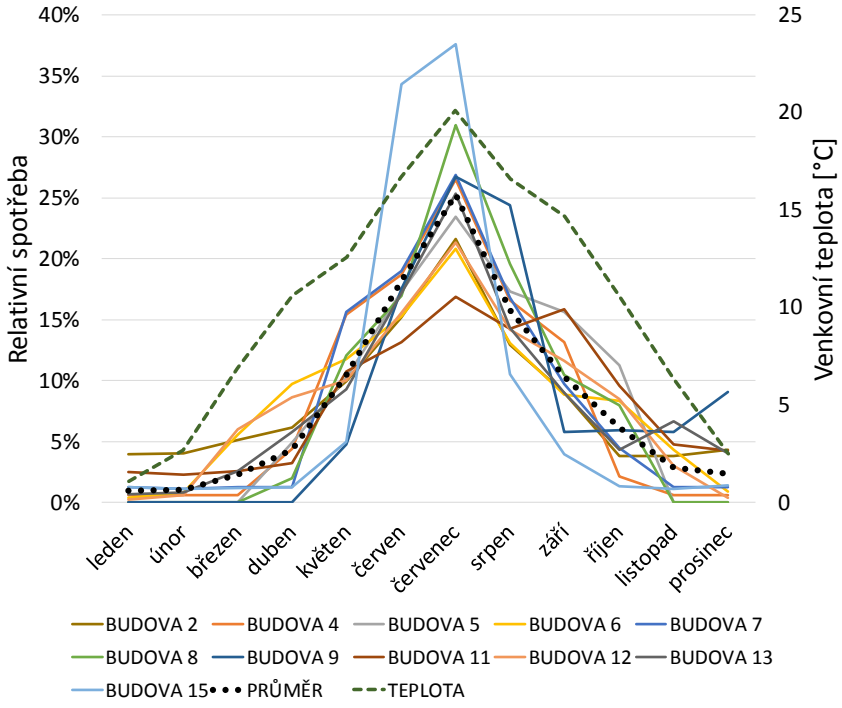
Vliv stínění

U sledovaných administrativních budov bylo stínění prosklených otvorů řešeno různými způsoby a v různém rozsahu. V případě některých budov bylo stínění řešeno pomocí stínění oken na všech fasádách v podobě aktivního stínění venkovními žaluziemi. Některé budovy však měly stínění nedostatečné, řešené pouze místně, často pomocí manuálně ovládaných prvků, vnitřního stínění, nebo stínění zcela chybělo. Bez ohledu na velikost prosklení jednotlivých fasád, měly budovy se systematicky řešeným stíněním prokazatelně nižší

spotřeby, naopak budovy, které měly stínění nedostatečné, měly spotřeby elektrické energie na chlazení zcela nejvyšší.

Vliv klimatu

Vliv klimatu na spotřebu energie na chlazení byl hodnocen na základě analýzy závislosti naměřených spotřeb na venkovní teplotě vzduchu. Nejprve byla hodnocena závislost průměrných ročních spotřeb na chlazení na průměrné teplotě venkovního vzduchu za letní období (květen – září). Navzdory očekávání však tato závislost nebyla identifikována. To je pravděpodobně způsobeno malými rozdíly v průměrných teplotách jednotlivých let, které se (v letech 2012 až 2016) pohybovaly od 16,14 °C do 17,26 °C a dopadem ostatních vlivů. Naproti tomu byla prokázána velmi silná závislost měsíčních spotřeb na chlazení na průměrných měsíčních teplotách venkovního vzduchu. Tato závislost je prezentována na obr. 2 níže, v podobě poměrného rozložení spotřeb v průběhu roku v kontextu průběhu venkovní teploty, která je v grafu zvýrazněna čárkovanou čárou. Z grafu je zřejmé, že průběh spotřeb v případě většiny budov téměř kopíruje tvar křivky znázorňující průběh teplot.

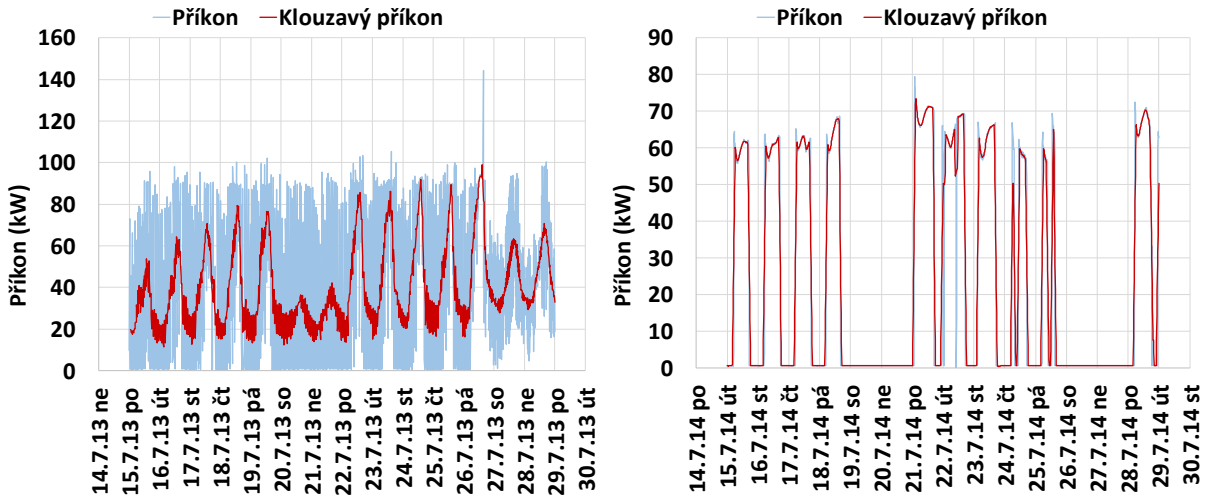


Obr. 2 *Závislost měsíčních spotřeb na venkovní teplotě v roce 2014*

Vliv řízení klimatizačního systému

Způsob řízení klimatizačního systému, respektive zdroje chladu byl hodnocen na základě analýzy detailních naměřených dat v podobě průběhů příkonů elektrické energie v závislosti na čase. Dále pak byly u některých objektů vysledovány výrazné odchylky ročních spotřeb na chlazení, které se po dalším šetření ukázaly jako důsledky změn v řízení klimatizačních systémů. Na základě detailní analýzy průběhů příkonů elektrické energie zdrojů chladu bylo zjištěno, že jsou zdroje chladu u jednotlivých budov řízeny mnohdy zcela odlišně a jen některé objekty pracují s víkendovými útlumy zdrojů chladu (viz obr. 3). Tyto útlumy zdroje chladu se však ukázaly jako účinný prostředek pro snížení spotřeby energie na chlazení. Všechny budovy, u kterých byly zdroje chladu během víkendů vypínány, měly v porovnání s ostatními objekty prokazatelně nižší spotřeby energie na chlazení. Tento fakt potvrzuje i pokles spotřeby na chlazení jedné z budov v roce, kdy bylo víkendových útlumů zdroje

využíváno a její následný nárůst v následujícím roce, kdy byl zdroj chladu opět v provozu i o víkendech. Dle získaných poznatků, lze tedy víkendových odstávek zdroje chladu doporučit jako prostředek pro snížení spotřeby energie na chlazení.



Obr. 3 *Průběh příkonu zdroje chladu budovy č. 6 s patrným cyklováním a absence víkendových útlumů (vlevo), průběh příkonu zdroje chladu budovy č. 1 s plynulým řízením výkonu a víkendovými útlumy (vpravo)*

Jak již bylo uvedeno, v případě dvou objektů byly odhaleny velmi výrazné změny ve spotřebách zdrojů chladu. Po kontaktování technické zprávy jednotlivých objektů, bylo zjištěno, že uvedené změny ve spotřebě korespondují se změnami v řízení klimatizačních systémů budov, které nastaly důsledkem změny technické zprávy objektu. Tyto blíže nespecifikované zásahy do řízení klimatizačních systémů se projevily razantními poklesy, případně nárůsty spotřeby elektrické energie zdrojů chladu. Na obrázku obr. 4 (vlevo) je zobrazen pokles spotřeby zdroje chladu v roce 2013 o 65 % oproti roku 2012 jedné z dotčených budov. Na obr. 4 (vpravo) je dále zobrazena relativní změna spotřeby v závislosti na způsobu řízení klimatizačního systému. U této budovy se během sedmi let, kdy probíhal monitoring spotřeby zdroje chladu, vystřídalo několik subjektů, které se o provoz klimatizačního systému staraly.

Každý tento subjekt měl evidentně značně odlišný přístup k řízení klimatizačního systému, což se projevilo výrazně odlišnými spotřebami na chlazení. Spotřeby jsou vztaženy k průměrné spotřebě z let, kdy byl klimatizační systém řízen z energetického hlediska nejnáročněji (způsob řízení 3).

Obr. 4 *Pokles spotřeby zdroje chladu budovy č. 5 důsledkem změny řízení klimatizačního systému (vlevo), Relativní spotřeby zdroje chladu budovy č. 1 v závislosti na způsobu řízení klimatizačního systému (vpravo)*

ZÁVĚR

Příspěvek ukázal na důležitost monitoringu spotřeby energie na chlazení pro získání zpětné vazby z reálného provozu budovy a jako prostředku k dosažení úspor energie. Měrné spotřeby budov na chlazení se pohybují od 2 do 37 kWh/m^2, přičemž vážený průměr všech vyhodnocených budov za všechny roky je 13,4 kWh/m^2.

Na základě naměřených dat z reálného provozu, byl identifikován značný potenciál pro dosažitelnou úsporu na chlazení pomocí optimalizace řízení klimatizačního systému. Jak bylo v příspěvku ukázáno, úspora el. energie zdroje chladu se potom může pohybovat až v desítkách procent ročně. Jako konkrétní prostředky pro snižování spotřeby elektrické energie na chlazení, lze na základě analýzy naměřených dat doporučit systematické stínění prosklených otvorů a víkendové útlumy zdroje chladu.

Detailní monitoring spotřeba a jejich analýzy jsou bezesporu vhodným nástrojem pro snížení spotřeb energie budov a tím se přiblížit ve skutečném provozu budovám s téměř nulovou spotřebou energie.

LITERATURA

[1] KNIGHT, Ian. Assessing electrical energy use in HVAC systems. *REHVA Journal* [online]. 2012 [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2012/012012/assessing-electrical-energy-use-in-hvac-systems.html

[2] LAIN, M. *Měření a analýza spotřeby energie budov na chlazení pro klimatizaci a vyhodnocení měrných spotřeb pro další využití*. MPO, 2017.

[3] Šimek, J. Spotřeba energie na chlazení budov. Praha, 2017. Diplomová. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.

AUTOMATIZOVANÁ KONTROLA PROVOZU SYSTÉMŮ TZB

Jan Široký

Energocentrum Plus, s. r. o.
jan.siroky@energocentrum.cz

ANOTACE

Článek představuje přístup k optimalizaci provozu technického zařízení budov (TZB) na základě analýzy měřených provozních dat. Základem pro optimalizaci provozu je důsledné ukládání provozních dat a následná práce s nimi. Pro větší množství budov se manuální kontrola provozu stává velmi zdlouhavou, případně až nereálnou z časových důvodů. Řešením je automatizace provádění kontrol způsobu provozu TZB. Tento koncept má významnou přidanou hodnotu zejména pro síťové zákazníky, kteří vlastní větší množství budov. Je díky tomu nastaveno transparentní prostředí, kdy všichni zúčastnění (provozovatel budovy, majitel budovy, energetik, …) mají trvalou kontrolu nad způsobem provozu TZB a kontrola je prováděna kontinuálně.

ÚVOD

Díky chybnému způsobu provozu TZB je vyplýtváno až 30 % spotřebované energie [1]. V případě budov je klasickým příkladem chod technologií v době kdy budova není využívána (obsluha je spokojená, neboť si „nikdo nestěžuje“). V průmyslu jsou to například zařízení provozovaná mimo optimální parametry (obsluha je spokojená, neboť zařízení „funguje“). Zmíněná vyplýtvaná energie bývá často neodhalena velmi dlouho dobu. Příčinou tohoto stavu je na jedné straně čím dál větší komplexnost technologií a jejich automatizace a na straně druhé tlak na snižování personálních nákladů na obslužný personál. Často pozorovaným důsledkem je to, že technologie jsou pouze udržovány v provozuschopném stavu bez snahy o optimalizaci provozu. Je proto logické, že v poslední době začínají vznikat sofistikovaná řešení, jejichž cílem je právě efektivní odhalování neefektivního provozu TZB. Cílem článku je přiblížit tento nastupující trend odborné veřejnosti.

Jedním z častých omylů je očekávání, že po instalaci systému MaR vše poběží automaticky a hlavně optimálně. Tento omyl je často podporován prohlášeními dodavatelů různých částí komponent systému TZB, které pracují „optimálně“. Každý zodpovědný provozovatel budovy potvrdí, že tomu tak není. Provoz TZB i s moderním systémem MaR je třeba průběžně kontrolovat a upravovat dle aktuálních potřeb. Klasickými příklady, na které lze nejčastěji narazit v praxi, jsou přetápění vnitřních prostor, provoz zařízení mimo pracovní dobu, provoz zařízení mimo optimální parametry případně současné chlazení a vytápění.

Jak bylo uvedeno v úvodu, je odhadováno, že až 30 % energie provoz je vynaloženo zbytečně. Proč tomu tak je a proč nedochází redukci tohoto plýtvání? Autor článku shledává tři hlavní úskalí:

Náklady na odhalení plýtvání

Obvyklým způsobem posouzení způsobu provozu TZB je inspekce na místě prováděná odbornou firmou. Místní inspekce představuje účinný, ale nákladný způsob odhalení problémů. V článku je představen přístup, kdy jsou náklady na odhalení plýtvání radikálně minimalizovány díky tomu, že se pracuje téměř výhradně s měřenými daty.

Náklady na nápravu neefektivního provozu

Některé problémy provozu TZB vyžadují značné investice a nevychází u nich požadovaná doba návratnosti. Proto je při automatizované kontrole zaměřena pozornost zejména na

problémy, kde lze očekávat nízké nebo žádné náklady na jejich vyřešení. Klasickým příkladem jsou špatně nastavené provozní režimy, které lze změnit pomocí pár kliků na dispečerském počítači. Dle studie firmy Microsoft [2] lze téměř polovinu detekovaných problémů v provozu TZB opravit do jedné minuty.

Udržitelnost efektivního provozu

Veškeré snažení o optimalizaci provozu může velmi brzy přijít vniveč například neodborným zásahem lokální obsluhy. Opět klasickým příkladem je přepnutí z automatického provozu do manuálního, protože „místní obsluha přece ví nejlépe jak danou technologii ovládat“. Proto je zcela zásadní, aby kontrola byla prováděna průběžně (tím se dostáváme opět k důležitosti prvního bodu – nízkým nákladům na odhalení plýtvání) a výsledky byly průběžně diskutovány se zodpovědnými pracovníky. Přístup představený v článku je koncipován tak, aby bylo možno provádět kontrolu pravidelně například na týdenní nebo měsíční bázi.

AUTOMATIZOVANÁ ANALÝZA DAT

Základním předpokladem pro to, aby bylo možné provádět automatizovanou analýzu dat, je porozumění významu měřených dat. Uživatelská rozhraní v dispečerských systémech jsou tvořena s ohledem na to, že je bude využívat technický personál zajišťující chod TZB. V oblasti tvorby dispečerských systémů nejsou v praxi aplikovány žádné standardy. Tudíž například pojmenování proměnných nebo způsob jejich uspořádání je zcela na programátorovi vizualizace a jím používaných zvyklostech. Příkladem je obrázek níže, kde jsou uvedeny různé varianty pojmenování venkovní teploty z různých reálných projektů.

Čas	Název	Stav	Hodnota
09:43:27	Teplota Venkovní JV		4.4 °C
09:36:29	Venkovní teplota SV - čidlo		3.3 °C
09:42:12	Tep_venkovni_UT-16		4.9 °C
09:52:15	T venkovni		0.0 °C
09:41:36	Venkovní teplota čidlo		1.2 °C
09:42:52	Teplota venkovní		4.2 °C
09:42:39	Teplota venkovní hw		2.8 °C

Obr. 1 *Ukázka různého způsobu pojmenování venkovní teploty.*

Dispečer ve všech případech pravděpodobně pozná, že se jedná o venkovní teplotu. Pro automatické zpracování ale představuje nejednotnost v pojmenování zásadní problém. První část této kapitoly bude proto věnována způsobu řešení tohoto problému. V další části budou představeny základní přístupy k následné analýze dat.

Meta-popis dat pomocí štítkování

Pro to, aby mohl automat měřeným datům porozumět, je třeba data popsat nezávisle na jejich pojmenování, a to ve strojově zpracovatelné podobě. K tomuto účelu je využíváno takzvané štítkování („tagování“ - anglicky tagging). Ke každé proměnné je možné přiřadit libovolné množství štítků (angl. tags), které nesou informaci vztahující se k dané proměnné. V případě venkovních teplot uvedených v úvody by štítkování mohlo vypadat například následovně.

Čas	Název			Stav	Hodnota
09:43:27	Teplota Venkovní JV	Venkovní teplota	Budova A	Orientace: JV	4.4 °C
09:36:29	Venkovní teplota SV - čidlo	Venkovní teplota	Budova A	Orientace: SV	3.3 °C
09:42:12	Tep_venkovni_UT-16	Venkovní teplota	Budova B	UT16	4.9 °C
09:52:15	T venkovni	Venkovní teplota	Budova C		0.0 °C
09:41:36	Venkovní teplota čidlo	Venkovní teplota	Budova D		1.2 °C
09:42:52	Teplota venkovní	Venkovní teplota	Budova E		4.2 °C
09:42:39	Teplota venkovní hw	Venkovní teplota	Budova F		2.8 °C

Obr. 2 *Ukázka štítkování dat*

Díky štítkování je zcela jednoznačné, že se jedná o venkovní teplotu. Dále je možné zaznamenat příslušnost k budově, orientaci a další informace, které jsou pro dané čidlo relevantní a mohou být dále strojově využity.

Stejným způsobem je možné označit veškeré technologie. Důležité je, aby způsob štítkování byl konzistentní a postihoval veškeré technologie, které mají být analyzovány. Je možné využít některých doporučených konvencí pro štítkování. Například, konvenci definovanou open-source projektem Haystack (http://project-haystack.org/).

Algoritmy automatizované analýzy dat

Jakmile jsou data oštítkována, je možné přistoupit k dalšímu kroku, a to jejich analýze. K dispozici je široká škála metod a přístupů k vyhodnocování dat. Od základního hlídání překročení předdefinovaných mezí, až po velmi sofistikované metody založené na umělé inteligenci.

Komplikované jsou zejména technologie související s vytápěním, kde je třeba zohlednit termodynamiku budovy. Aktuální stav budovy závisí především na vstupech v minulosti (např. teplota otopné vody v posledních 6 hodinách) ne pouze na aktuálních měřených hodnotách. Proto je třeba vytvářet zjednodušené dynamické modely. Na jejich základě je možné vyhodnocovat data z otopné soustavy a analyzovat nastavení útlumů vytápění a dávat doporučení na úpravu režimů vytápění [3].

V případě systémů s rychlejší dynamikou, jako jsou například vzduchotechnické jednotky, je možné využívat statické modely a dynamiku zanedbat. I tak se jedná o složitou problematiku, kdy je nutné zohlednit různé pracovní režimy a variabilitu instrumentace. Podrobněji se automatizovanému vyhodnocení provozu VZT věnuje článek [4].

Podrobný přehled používaných metod pro detekci poruch TZB lze nalézt v publikaci [5] případně v přehledovém článku [1].

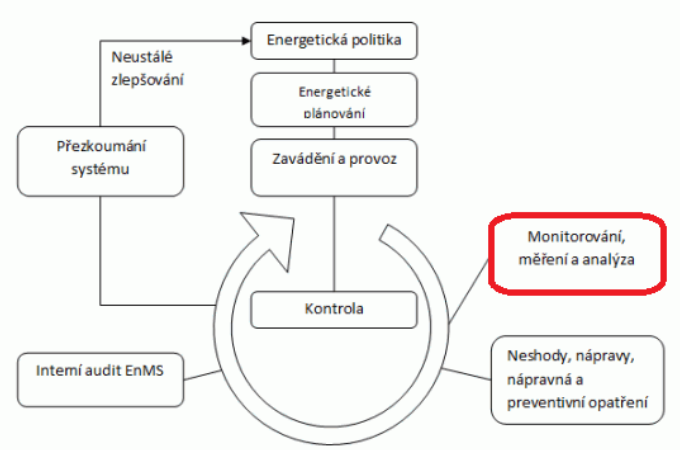
VYUŽITÍ

V předchozí části byla věnována pozornost teoretickým předpokladům pro automatizovanou analýzu budov. V praxi je klíčovým aspektem i následný způsob využití výsledků automatizované analýzy a řešení detekovaných problémů.

Kontinuální činnost

Bodova, která je aktivně využívána, představuje složitý mechanizmus, kde dochází k průběžným změnám. Ať už se jedná o mimořádný seminář v sobotu dopoledne, výměnu systému chlazení nebo změnu nájemníka a tím i využití budovy. Nelze proto očekávat, že se podaří naladit dlouhodobě optimální způsob provozu budovy, který nebude vyžadovat průběžné úpravy.

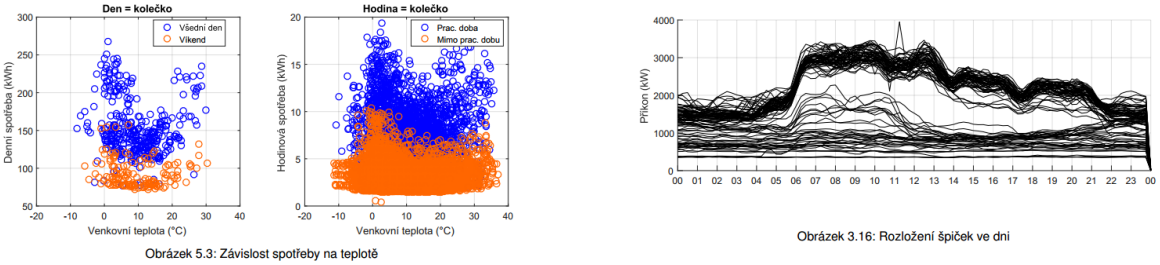
Ideální je zapojení automatizované analýzy do správy budovy, kdy je v pravidelných intervalech vyhodnocen způsob provozu. Výsledky analýzy jsou diskutovány s technickým managementem, který rozhodne o případných akcích. Velmi dobře tento princip shrnuje model „Plánuj – Dělej – Kontroluj – Jednej“, který je podrobně popsán v normě ČSN EN ISO 50001 (01 1501) „Systémy managementu hospodaření s energií – Požadavky s návodem k použití“, viz obrázek níže. Automatizovaná kontrola je ideální nástroj pro zapojení konceptu „Plánuj – Dělej – Kontroluj – Jednej“ a to ze dvou důvodu. Jednak výrazně minimalizuje nároky (časové, personální) na analýzu způsobu provozu, a hlavně podává konzistentní a nezávislé výsledky.



Obr. 3 *Model systému hospodaření s energií dle ČSN EN ISO 50001. Červeně jsou zvýrazněna místa, kde se přímo uplatní automatizovaná analýza dat.*

Expertní zhodnocení

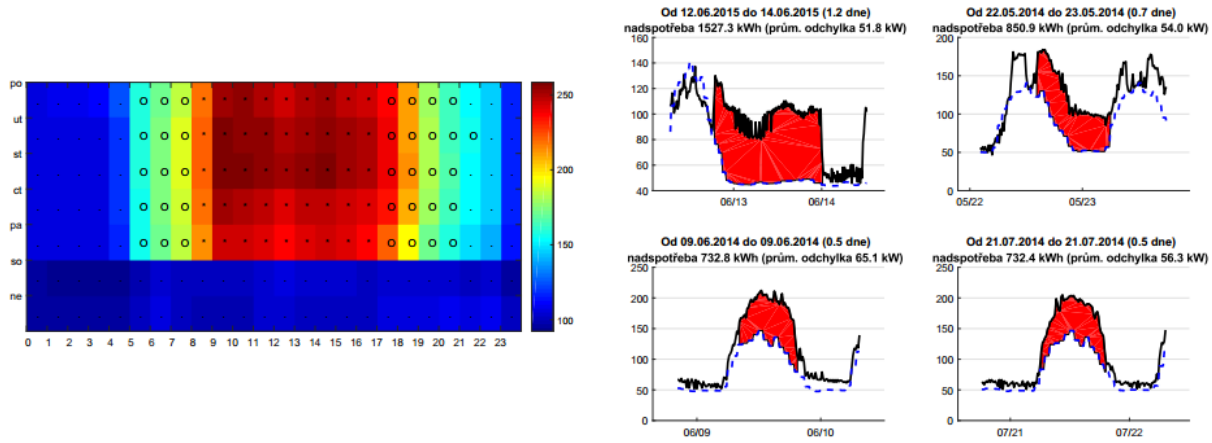
S ohledem na rozmanitost a složitost systémů TZB nelze očekávat, že přímým výstupem automatizované analýzy bude pouze jednoduché manažerské shrnutí. Interpretace výstupů z automatizované analýzy vyžaduje expertní znalost TZB a používaných detekčních metod. Je nutné odfiltrovat falešné alarmy, které jsou nedílnou součástí automatické detekce. Také je nutné interpretovat nalezené problémy v kontextu požadavků a možností konkrétního zákazníka (např. požadovaná doba návratnosti vložených investic). V praxi se tak uplatňuje princip, kdy je analýza dat poskytována jako služba. V takovém případě je výstup interpretován expertem, který následně probírá vybrané problémy se zákazníkem. Zákazníkovi je tak prezentováno manažerské shrnutí, včetně klíčových informací pro rozhodování, jakou je odhad množství vyplýtvané energie nebo potenciální dopad na vnitřní komfort.



Obrázek 5.3: Závislost spotřeby na teplotě

Obrázek 3.16: Rozložení špiček ve dni

Obr. 4 *Ukázka dílčích výstupů automatizované analýzy dat. Grafy v levé části dávají do souvislosti spotřebu elektřiny a venkovní teplotu. V pravé části je graf, kde jsou denní průběhy příkonu za několik měsíců.*



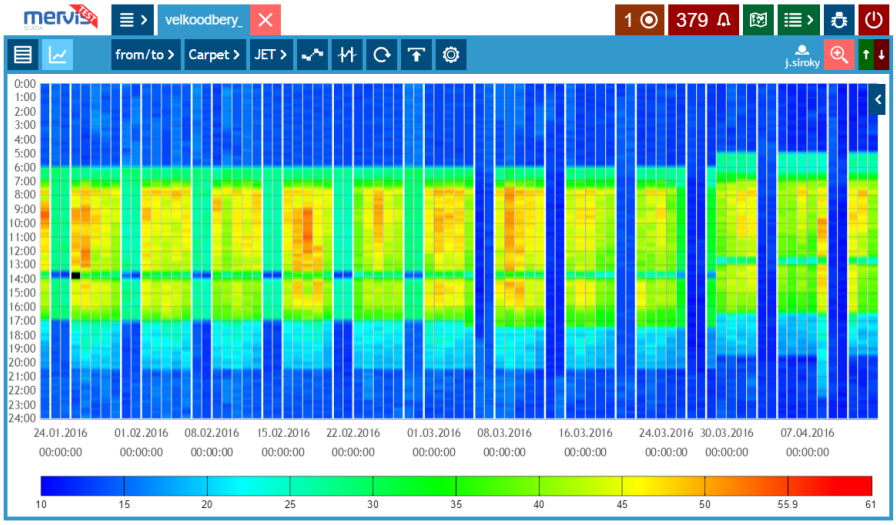
Obr. 5 *Ukázka dílčích výstupů automatizované analýzy dat. V levé části jsou průměrné příkony v závislosti na dni v týdnu a hodině ve dni. Barevná škála určuje průměrný příkon. V pravé části jsou zachyceny největší odchylky od očekávaného průběhu příkonu. Červeně vybarvená část představuje energii spotřebovanou nad rámec očekávání matematického modelu.*

PŘÍPADOVÁ STUDIE

Níže bude popsán princip, který aplikuje firma Energocentrum Plus, s. r. o. ve spolupráci s Českou spořitelnou, a. s. při dozoru způsobu provozu TZB na pobočkách ČS.

Česká spořitelna dlouhodobě drží jednotnou koncepci systémů MaR instalovaných na pobočkách. Díky tomu jsou data ze 150 poboček online komunikována do cloudového dispečerského sytému Mervis, kde jsou data i ukládána. Denně je uloženo přes 10 milionů unikátních záznamů o provozu TZB na pobočkách ČS (např. vnitřní teplota nebo požadovaná poloha směšovací klapky). Není v lidských silách takové množství dat průběžně kontrolovat. Proto jsou v případě České spořitelny uplatňovány výše popsané principy, jak bude dále ilustrováno.

Princip automatizované analýzy dat bude demonstrován na příkladu, kdy byla pozornost soustředěna na spotřebu elektřiny mimo pracovní dobu. Analýza se opírá o průběhové měření spotřeby elektřiny s periodou ukládání maximálně 15 minut. Průběžně jsou vyhodnocována měření z více jak stovky elektroměrů. Pro každý elektroměr je vytvořen matematický model zachycující hlavní charakteristiky odběru elektřiny. Parametry modelů jsou poté porovnány a pobočky, kde jsou identifikovány nestandardní parametry, jsou podrobněji analyzovány. V případě nutnosti je provedeno i místní šetření. Tento postup je pravidelně opakován a výsledky jsou průběžně diskutovány s technickými manažery. Zásluhou této periodicky prováděné analýzy dochází ročně k úspoře přes 500 tis Kč.



Obr. 6 *Příklad dopadu chybně nastaveného provozu vzduchotechniky na spotřebu elektřiny. V prostředku zobrazeného období je patrné, kdy došlo k přenastavení režimu vzduchotechniky, což mělo dopad na snížení spotřeby elektřiny během víkendů. K odhalení chybného provozu došlo díky detekovaným nestandardním parametrům mat. modelu.*

ZÁVĚR

V článku byl popsán přístup k optimalizaci provozu TZB na základě automatizované analýzy měřených dat. Tento přístup je vhodný zejména pro síťové zákazníky s větším počtem budov anebo pro majitele velkých budov s komplikovaným systémem TZB. V těchto případech je velmi komplikované ohlídat optimální chod všech monitorovaných technologií. Automatizovaná analýza je téměř libovolně škálovatelná a je možné průběžně analyzovat stovky až tisíce budov. Expertem zpracované výstupy poté ukazují konkrétní pochybení, ideálně seřazená dle možné úspory nákladů nebo potenciálního dopadu na komfort. Technický personál díky tomu řeší problémy dle skutečné priority a jeho práce je tak mnohem efektivnější.

Při komplexnosti dnešních budov a jejich technických systémů není neobvyklé, že některé části nejsou provozovány optimálně. Dokonce to lze vnímat jako nevyhnutelný důsledek aktivního užívání budovy. Důležité je ale mít mechanizmy, které tyto neoptimální stavy odhalí a umožní jejich nápravu. V článku představená automatizovaná kontrola provozu TZB představuje ideální nástroj pro trvalé udržení energeticky efektivního způsobu provozu TZB.

LITERATURA

[1] Methods for fault detection, diagnostics, and prognostics for building systems - a review, part I. - Katipamula, Srinivas, and Michael R. Brambley. Hvac&R Research 11.1 (2005): 3-25.

[2] 88 Acres - How Microsoft Quietly Built the City of the Future, Aktualizováno 12. 7. 2017. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/stories/88acres/>.

[3] Automatizovaná kontrola režimů vytápění na základě provozních dat – Široký, J. – Cigler, J., Konference Vytápění Třeboň 2017. Praha: Společnost pro techniku prostředí. 2017, ISBN 978-80-02-02712-6.

[4] Expertní systém pro analýzu provozu vzduchotechnických jednotek - Nehasil, O., Adamovský, D., Široký J., 22. konference Klimatizace a větrání 2017

[5] Building Optimisation and Fault Diagnosis Source Book - Hyvärinen, J., and S. Kärki (eds.). 1996. International Energy Agency. Technical Research Centre of Finland, Laboratory of Heating and Ventilation, Espoo, Finland.

ENERGETICKY ÚSPORNÁ OPATŘENÍ V AREÁLU AKVAPARKU V ČESTLICÍCH

Ing. Roman Šmíd

RS Facility s. r. o

roman.smid@rs-facility.cz

ANOTACE

Při řešení Projektu systému technických opatření a aplikací k zajištění požadované úspory, v rámci projektu OPPI „Zvyšování účinnosti při výrobě, přenosu a spotřebě energie“ bylo respektováno, že dosahování úspor spotřeby energií je trvalým problémem, a tedy pracovním programem provozovatelů budov a složitých energeticky náročných systémů.

Autor příspěvku popisuje náročné zadání naznačeného problému na základě evropské dotace ve velmi technicky, stavebně i provozně složitém objektu občanské vybavenosti a jeho řešení doplněním zařízeními, přispívajícími k rekuperaci tepla, a hlavně úpravou provozních režimů soustav s využitím zpracovaných provozních dat.

ÚVOD

Hlavní budova aquaparku má trojúhelníkovitý tvar evokující pyramidu a sestává ze tří subčástí – Paláce dobrodružství, Paláce pokladů a Paláce relaxu. Jde o dómy se zasklenými transparentními střechami, každá o ploše cca 2100 m². Střechy bazénových dómů s dřevěnou konstrukcí lepených nosníků jsou ve svých vrcholech vysoké 18,4 m. Jsou z velké části vyrobeny ze skla, což celou stavbu vylehčuje a spolu s rostlinami a přírodními materiály navozuje celoroční pocit subtropického klima. Pro návštěvníky je zpřístupněna prostřednictvím lichoběžníkové vstupní budovy. Na vstupní budovu navazuje centrální blok ve tvaru Y o ploše 2750 m2, vložený mezi tři bazénové Paláce. Ze stavebně-technického hlediska se jedná o železobetonovou konstrukci s opláštěním.

Na jižní straně areálu, vně Paláce vlnobití a Paláce dobrodružství, se nachází venkovní prostor s bazény, divokou řekou, terasami, vodním barem, venkovními saunami atd. Vodní nádrže venkovních ploch i palácù jsou, s výjimkou plaveckého bazénu, navzájem propojeny plaveckým kanálem.

Převážná část prosklených průčelí bazénových hal je osluněna z jihu, západu a východu, zatímco k severu směřují špicí.

ŘEŠENÍ

Technické podlaží

Pod celým půdorysem akvaparku je technické podlaží, skrývající špičkové technologie vodního hospodářství i tvorby vnitřního klimatu instalované tak, aby nerušily zákazníky, a přitom zajistily optimální podmínky pro pobyt návštěvníků ve všech prostorách akvaparku. Značně náročná je úprava vody pro různé vodní atrakce, které mají rozdílné požadavky na kvalitu vody a teplotu.

Energetické nároky na ohřev téměř třech milionů litrů bazénové vody, vytápění a odvlhčování prostor nad vodní hladinou a přípravu teplé (užitkové) vody jsou vysoké.

Pro ilustraci několik čísel:

Klimatizovaný prostor:	220.000 m^3
Instalovaný Výkon zdroje tepla.	5,4 MW
Instalovaný výkon chladicích agregátů:	3,9 MW
Maximální špičkový elektrický příkon:	1,8 MW
Roční spotřeba elektřiny	8,5 GWh
Roční spotřeba zemního plynu	20,5 GWh

Součástí energetického hospodářství je licencovaná elektrárna KVET (kombinovaná výroba elektřiny a tepla). Tato kogenerační jednotka je vybavená dvěma přeplňovanými motory spalujícími zemní plyn a poháněnými elektrické generátory. Výkon elektrárny činí 0,8MWel. a 1,22 MWt., přičemž vyrobí 65 % z celkové roční spotřeby elektřiny. Veškeré teplo vzniklé spalováním plynu je využito pro vytápění.

Koncepce řízení a správy komplexu (Building Management System-BMS) zabezpečuje centralizované řízení a monitorování provozu technologických zařízení, TZB, atrakcí a dalších systémů a subsystémů tohoto objektu:

- řízení a monitorování provozu zdrojů a rozvodů tepla
- řízení a monitorování provozu zdrojů a rozvodů chladu
- řízení a monitorování provozu vzduchotechnických zařízení
- řízení osvětlení
- monitoring a ovládání bazénových technologií
- monitorování čističky šedých vod
- monitoring strojovny sprinklerů
- měření spotřeb vody, elektřiny, tepla, plynu atd.
- monitorování provozu trafostanice, rozvoden NN a náhradního zdroje
- management energetického hospodářství - sledování spotřeby jednotlivých provozních celků
- integrace požární signalizace (EPS)

Použitý systém měření a regulace byl koncipován pro zajištění provozu všech zařízení. Obsluha dálkově ovládá většinu koncových zařízení a část z 850 měřicích bodů elektrických i neelektrických veličin je zobrazována na monitorech řídicího pracoviště.

Regulační algoritmy vzduchotechnických jednotek pro vytápění a odvlhčování prostor nad vodní hladinou jsou naprogramovány „natvrdo“. Když obsluha změní některé implicitně nastavené parametry, tak dochází ke kolizním stavům. Neboli systém řízení není otevřený provozním optimalizacím, což je velkou nevýhodou.

A naopak - v BMS je za osm roků provozu uloženo značné množství naměřených dat, která by po zpracování mohla být efektivně využita.

Rostoucí ceny energie nutí provozovatele spořit. Způsobů je mnoho. Od čistě provozních opatření typu snížení vnitřní teploty, přes zateplení obálky domu, až po instalaci sofistikovaných inteligentních zařízení.

Zkušený provozovatel AQP využil pro vyhledání optimálních opatření pomoc energetického specialisty. Z jejich vzájemné korektní spolupráce vznikl energetický audit, s doporučením tří

variant úsporných investičních opatření. Investor, majitel objektu, zvolil kombinaci takových úsporných opatření, která svou návratností vyhovovala podmínkám dotačnímu programu OPPI.

Vzniklý projekt vyhovuje Strategické koncepci v oblasti efektivního hospodaření s energií a zvyšování konkurenceschopnosti při respektování udržitelného rozvoje společnosti. Projekt sestává ze 4 opatření.

1. **Optimalizace řídicího systému budovy - TZB a technologie úpravy vody**

Jedná se o optimalizaci řídicího systému. Stávající systém řízení, i když byl implementován dle projektové dokumentace, není vybaven rozhraním pro dynamické řízení provozu energetických systémů, plynule reagujících na změny vnitřního a vnějšího prostředí v průběhu celého roku. Hodnocení výše úspor se týká rozšíření systému řízení otopné soustavy, vzduchotechniky (ohřev vzduchu, množství přívodu a odvodu vzduchu), přípravy TV, ohřev bazénových vod). Předmětem opatření je doplnění programového vybavení řídicího systému pro zpracování historických naměřených dat a osazení nových měřidel.

2. **Zvýšení účinnosti kogeneračních jednotek využitím ventilačního vzduchu a využitím tepla z technologického okruhu (chlazení turbodmychadla)**

Jedná se o zvýšení účinnosti kogeneračních jednotek využitím ventilačního vzduchu. Tepelný systém kogenerační jednotky je z hlediska odběru tepelného výkonu tvořen dvěma nezávislými okruhy, sekundárním a technologickým. Teplo vysálané z horkých částí je z jednotky odváděno vzduchem (tzv. ventilační vzduch) a není využito. Stejně tak není využito teplo technologického okruhu.

3. **Optimalizace hydraulického zapojení v kotelně**

Předmětem tohoto opatření je výměna nevyhovujících, popřípadě doplnění nových zpětných klapek. Během rekonstrukce bude třeba kompletně vypustit dotčené okruhy otopné soustavy, demontovat stávající armatury, v místech instalace nových zpětných klapek navařit přírubové spoje. Dále osadit nové armatury a provést vyčištění a napuštění dotčených otopných okruhů.

4. **Využití odpadního tepla ze zdrojů chladu**

Jedná se o využití tepla z kondenzátorů zdrojů chladu. Zdrojem chladu jsou tři kompaktní chladící stroje YORK YCIV SE 1180. Jsou umístěny ve venkovním prostředí na střeše ve 3.NP. Teplo z kondenzátorů je odváděno výměníky voda-vzduch. Je již provedena potrubní příprava pro využití odpadního tepla z chladicích jednotek. Je však nutno doplnit technická opatření v systému regulace a bezpečnosti strojů a potrubí. Vzhledem k odvlhčování a odvodu tepelných zisků (prosklené horizontální plochy) je chod zdrojů chladu celoroční a množství odpadního tepla značné.

Při plánování tohoto záměru bylo nutné vzít v úvahu, že snaha o snižování energetické náročnosti tvorby a užívání veškerých výtvorů civilizace se promítá do všech technických a dalších oborů lidské činnosti.

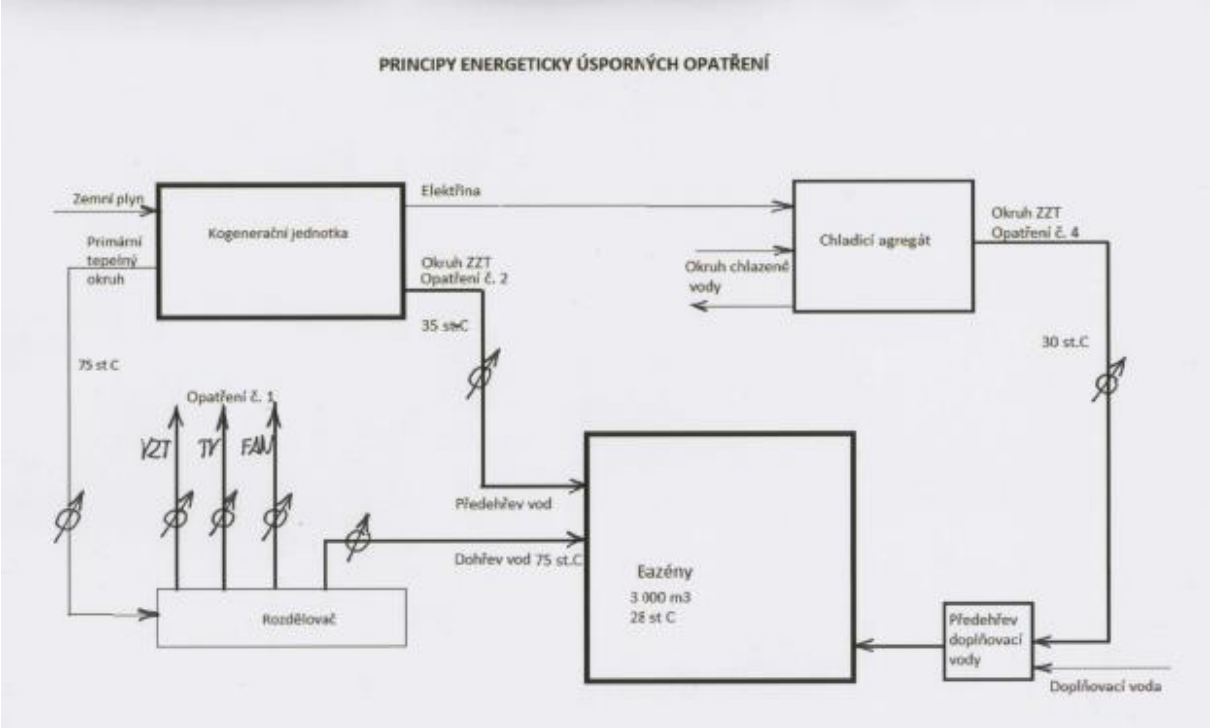
V této souvislosti lze vysledovat v zásadě dvě oblasti, do kterých se snaha o dosažení energetických úspor promítá. Jednak jde o procesy tvorby staveb a technických zařízení všeho druhu a jednak o procesy, které souvisí s užíváním vytvořeného díla.

Není výjimkou, že náklady na první zmíněné oblasti jsou větší, než kdyby požadavek energetické účinnosti respektován nebyl. Samozřejmě se očekává, že tyto náklady se v průběhu užívání díla navrátí. Pokud se týká energetické náročnosti užívání díla – a v kontextu tohoto příspěvku se tímto dílem rozumí stavba provozně mimořádně náročná

a složitá – závisí množství spotřebované energie značně rovněž na profesionální zručnosti a kompetentnosti obsluhujícího personálu na koncepci využívání technických možností zařízení s cílem dosažení energetických úspor.

Popisovaný úsporný projekt byl stanoven s vědomím, že komplex technických zařízení – a to i speciálního charakteru – byl navržen a zbudován především s cílem dosažení předepsaných hodnot jak parametrů mikroklimatu uvnitř objektu, tak i pokud se týká dalších technologických provozních požadavků, jako jsou například teploty provozní vody, jejího množství či stanovených průtoků. Hledisko množství spotřebovávané energie nebylo při tvorbě návrhů a dokumentace stavby akcentováno. Toto pojetí limitovalo zásadním způsobem možnosti omezování množství tepla, dodávaného do prostorů areálu, protože algoritmy, vložené do řídicích programů soustavy měření a regulace respektovaly nastavení, směřující k výše zmíněnému výsledku. Omezení dodávek tepla občasným a dočasným vypínáním jednotlivých klimatizačních zařízení při zkouškách úsporných metodik generovalo sice značné a okamžité úspory ale také přinášelo nežádoucí vedlejší účinky, týkající se ovlivňování vlhkostního režimu.

Složitost vzduchotechnických zařízení naznačuje schéma a popis jednoho z těch, které lze označit jako klíčová:



Obr. 1 *Schéma principů energeticky úsporných opatření*

Proces administrace dotované investice v přímém styku s příslušnými úřady byl i pro velmi zkušeného provozovatele nezapomenutelným zážitkem. Přesto se všechny formální kroky podařilo stihnout a realizaci fyzicky dokončit v požadovaném termínu.

Technická realizace:

Realizace Opatření č. 4 byla poměrně jednoduchá a vlastní provoz byl úspěšně nastaven během několika dnů. Energie ZZT je měřena přesným kalorimetrem a její množství je úměrné pouze výkonu chladicích jednotek a časovému období, kdy jednotky pracují. Jelikož v každém chladicím stroji York jsou sice 3 kompresorové systémy, ale pouze dva je možné

připojit k systému ZZT, byly jednotky přeprogramovány tak, aby v provozu byly přednostně systémy zapojené k ZZT.

Realizace Opatření č. 2 byla složitější. Okruh využití energie ve ventilačním vzduchu s okruhem chlazení turbodmychadla bylo potřeba vždy u každého stroje spojit dohromady. Jelikož tento spojený tepelný okruh předává teplo do bazénové vody o teplotě cca 28 0C, byly dlouhodobě laděny teploty v okruzích motorů KG tak, aby takto spojený zdroj předával maximální možný tepelný výkon. Teplotní diference na kalorimetru činí pouze několik Kelvinů a při nepřesném nastavení by kalorimetr přestal měřit. Celkové množství tepla získané tímto ZZT je úměrné výkonu kogeneračních jednotek a časovému období, kdy jednotky pracují.

Realizace Opatření č. 1 byla velmi náročná. Obnášela vyřešení těchto hlavních úkolů:

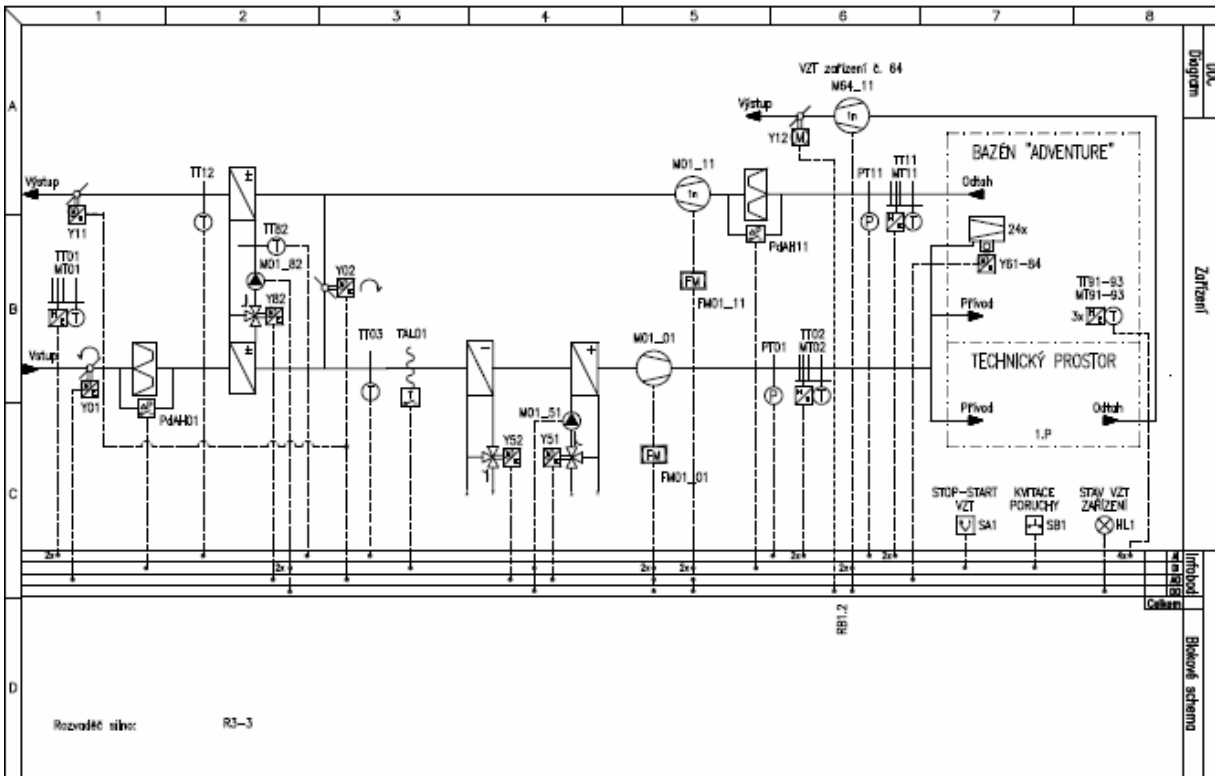
1. Vybrat, zpracovat a připravit systém vyhodnocování historických naměřených dat za 8 let provozu jako podklad pro SW analytický modul. Cílem bylo vybrat z 850 měřených bodů ty, u kterých je největší potenciál pro úsporná opatření. Na této velmi náročné činnosti pracovali dva zkušení praktici-provozovatel Ing. Roman Šmíd spolu s autorizovaným inženýrem v oboru technika prostředí staveb Ing. Jiřím Frýbou.
2. Připravit způsob přenášení dat ze systému měření a regulace „ON-LINE“ do analytického SW modulu. Zde velmi dobře spolupracoval zhotovitel MaR s vědeckým pracovištěm zabývajícím se zpracováním velkých množství dat.
3. Úprava vlastního analytického SW modulu vědeckým pracovištěm dle navrženého systému Ing. Frýbou a Ing. Šmídem
4. Instalace nového serveru, nové pracovní PC stanice pro provozního uživatele a dálkových přístupů k serveru – internetové aplikace
5. Montáž nových měřidel tepla a elektřiny s automatickým přenosem do MaR dle systému určeným výše

Opatření č. 1 – Vlastní provoz ve sledovaném období přinášel často zajímavé situace a provozní rizika.

- Vzduch s vysokou relativní vlhkostí a teplotou cca 32 0C, stovky osob vířících vodu, skleněná střecha i fasáda, vodopády, vířivky, vlnobití, otevřené průchody do venkovní zahrady, nárůst tepelných spotřebičů o výkonech v desítkách kilowat v zařízení gastronomie. To jsou vlivy, které provozovateli VZT komplikují realizaci úsporných opatření.
- V roce 2014 (2 roky po zpracování energetického auditu, sloužícího jako podklad pro dotovanou investici) byly postaveny na jednom z paláců vodního světa dva nové tobogány. Jeden z nich s vodopádem a druhý tobogán dokonce prostupuje fasádou ven. To naprosto zásadně změnilo podmínky pro odvlhčování a vytápění paláce. Avšak úprava výkonových parametrů příslušné VZT jednotky provedena nebyla.
- Systém měření a regulace nedovolí změnit některá nastavení v řídicím algoritmu a vyhodnotí je jako chybu. Namísto změny vedoucí k úspoře pak VZT jednotku vyřadí z provozu.
- Relativita pocitu tělesné pohody je umocněná tím, že hosté v akvaparku nejsou oblečení. Silný argument provozovatele, že spoří energii, stává se velmi slabým argumentem v okamžicích, kdy hosté v pohodě nejsou a žádají vrátit vstupné.

Opatření č. 1 – Měření a úspory v provozu VZT:

Vzduchotechnické zařízení zajišťuje teplovzdušné vytápění a větrání bazénové haly a hrazení tepelných zisků haly v létě. Množství cirkulačního a čerstvého vzduchu je řízeno automaticky měřením a regulací v závislosti na parametrech venkovního vzduchu. Pro bazénovou halu je ve strojovně ve 3.NP umístěna vzduchotechnická jednotka pro přívod a odvod vzduchu. Odsávací jednotka nasává odsávaný vzduch z prostoru pod zastřešením bazénové haly kruhovým potrubím. Část odsávaného vzduchu je vyfukována do směšovací komory přívodní jednotky a zbylá část vzduchu je vyfukována přes kapalinový výměník zpětného získávání tepla do výfukového kanálu s tlumiči hluku nad strojovnou a dále přes protidešťovou žaluzii mimo budovu. Přívodní jednotka nasává čerstvý vzduch z venkovního prostředí přes protideštovou žaluzii a tlumiče hluku umístěné v přívodní komoře nad strojovnou vzduchotechniky. V jednotce je vzduch předehříván v kapalinovém výměníku zpětného získávání tepla, směšován s cirkulačním vzduchem a dohříván v teplovodním ohřívači. Ventilátor jednotky vyfukuje upravený vzduch přes tlumiče hluku a požární klapky do přívodního potrubí. Přívodní vzduch je v bazénové hale rozváděn plechovým potrubím pod stropem bazénu a pomocí bočních stavebních šachet vedených do 1PP. Pro větrání technického zázemí bazénu je zajištěn přívod vzduchu ze zařízení č. 1 přes protipožární a regulační klapku. Distribuce přívodního vzduchu je interiérovými obdélníkovými vyústkami v parapetu podél stěn a plynule naklápěnými dýzami s dalekým dosahem proudu vzduchu k ofukování prosklených stěn a zastřešení.



Obr. 2 *Topologie řízení VZT jednotky pro vodní svět*

Úspora energie prostřednictvím nočního poklesu teploty vzduchu a snížením průtoku ohřátého, upraveného vzduchu v prostorách s otevřenou hladinou bazénových vod, se jevila jako nejefektivnější způsob. Bylo ale potřeba zjistit mezní stavy, kdy ještě nedojde ke kondensaci vodních par na střešních a fasádních izolačních sklech a současně určit čas potřebný pro zpětné nahřátí klimatizovaného prostoru.

Smysluplného výsledku se dá dobrat pouze dlouhodobým měřením, protože hlavními proměnnými jsou venkovní teplota vzduchu a vlhkost uvnitř objektu. Vlhkost zvyšují například vodopády, vířivky, vlnobití a další vodní atrakce. K dispozici byla data naměřená systémem MaR od roku 2008, doplněná informacemi z nově instalovaných měřičů tepla a elektřiny. Provozovateli byl k dispozici špičkový přenosný přístroj pro měření HVAC TESTO 480.

Sledované hodnoty vzduchu byly nastavovány, měřeny a optimalizovány ve všech ročních obdobích.

V nočním režimu – bez zákazníků – byl, mimo jiné, zkoušen atypický provoz VZT jednotek, které se skládají ze samostatné jednotky pro přívod vzduchu a samostatné jednotky pro odtah. Tedy u VZT č. 1 byl v provozu pouze přívod, VZT č. 2 vypnuta úplně a u VZT č. 3 byl v provozu pouze odtah. (viz. Obrázek č. 2) Tímto způsobem by bylo zajištěno vyvětrání všech 3 paláců současně, jen pomocí 2 pohonů. Úspora energie, v tomto případě elektřiny, byla evidentní – namísto 6 motorů o výkonu 45kW byly v provozu 8 hodin jen motory dva.

Menší průtok vzduchu v kombinaci s odparem z hladiny bazénu by ale mohl způsobit kondenzaci vodních par na vnitřních sklech fasády. Z toho důvodu byl do systému měření a regulace doprogramován h-x diagram, ve kterém jsou na monitoru obsluhy zobrazovány stavy přívodního a odtahového vzduchu.

ZÁVĚR

Úspory činí více, než 2,5násobek hodnoty určené v energetickém auditu.
Ve sledovaném období 24 měsíců činí úspora 12,5 % z celkové energetické spotřeby objektu.

Tab. 1 *Výsledky úspor*

opatření C1 (GJ)	12 829	7 405	20 234	Optimalizace řídicího systému
opatření C2 (GJ)	1 718	2 009	3 727	Zvýšení účinnosti kogeneračních jednotek
opatření C4 (GJ)	1 808	1 631	3 439	Využití odpad. tepla zdrojů chladu
opatření B1 (GJ)	98	83	181	Optimalizace hydraulického zapojení v kotelně
SUM (GJ)	**16 453**	**11 128**	**27 581**	

NORMATIVNÍ NOVINKY POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB PRO OBLAST VZDUCHOTECHNIKY A POŽÁRNÍHO VĚTRÁNÍ

Ing. Stanislav Toman

Projektová kancelář ÚT+VZT

sttoman@centrum.cz

ANOTACE

Příspěvek je zaměřen na seznámení s nejnovějšími novinkami z oblasti normových požadavků, které jsou kladeny na vzduchotechnické systémy a na zařízení pro odvod kouře a tepla. Případně též požadavků, které mají dopad na jejich správné řešení ať už přímo či nepřímo.

Zvlášť důležité je upozornění na zcela nové normativní požadavky, které se týkají funkční provázanosti hlavních aktivních požárně bezpečnostních (a jiných) zařízení, která jsou uvedena do činnosti (nebo jinak řízena) v případě vzniku požáru v budově.

ÚVOD

V červenci 2016 byla úřadem ÚNMZ (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví) vydána česká technická norma ČSN 73 0810 - Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (dále označována jako [1]). Jde o významně upravenou normu stejného čísla a názvu z roku 2009. Po téměř dvou letech, kdy byla revize normy připravována, máme k dispozici důležitý předpis týkající se požární bezpečnosti staveb. Více než šedesáti stránková technická norma se dotýká řady oborů a činností jdoucích napříč stavebním procesem, a dotýká se přirozeně i oblasti vzduchotechniky a požárního větrání.

Smyslem příspěvku je upozornit odborníky těchto dvou profesí na nejdůležitější změny a novinky, které musí do budoucna reflektovat při své práci.

PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ POŽADAVKY POŽÁRNÍ OCHRANY STAVBY NA VZDUCHOTECHNIKU A POŽÁRNÍ VĚTRÁNÍ

Smyslem kapitoly je poukázat na takové normativní protipožární požadavky, které buď přímo, nebo nepřímo ovlivňují řešení běžné vzduchotechniky nebo požárního větrání.

Názvy níže uvedených podkapitol vystihují podstatu dotčené problematiky včetně případného odkazu na příslušný článek normy [1].

Zateplování stavebních objektů (článek 3.1)

Pokud je obvodový plášť stavby tepelně izolován vnějším zateplením, musí být toto zateplení provedeno ucelenou soustavou a z hlediska reakce na oheň hodnoceno jako systémový celek (ETICS = external thermal insulation composite system). A dále musí být dodržena celá řada zásad, které jsou uvedeny v článku 3.1.3 a dalších.

Pro **vzduchotechnické systémy** platí především dodržení požadavků vztahujících se k jejich **vyústění na vnějším zateplení**. Toto vyústění (stejně jako okna, dveře, pojistkové skříně apod.) je chápáno jako místo přerušení celistvosti zateplovací sestavy, kde je možné předpokládat působení účinků požáru. Proto se musí provádět taková opatření, aby vyústění VZT systému bylo zajištěno proti šíření požáru.

Například u stavebních objektů s požární výškou 12,0<h<22,5 m (tj. orientačně objekty 6 až 11-ti podlažní) musí být lokální vyústění VZT systémů opatřeno požární bariérou a vnější zateplení být v ucelené sestavě třídy reakce na oheň A1 nebo A2 v pruhu nejméně 250 mm od

vnějšího okraje zařízení. Toto není nutné provádět, pokud je vzduchotechnický systém na prostupu stěnou vybaven požární klapkou nebo je nad vyústěním VZT systému provedeno tzv. průběžné opatření okolo celého objektu (podrobnosti viz článek 3.1.3.3). Dalším příkladem, kde je nutno si dát pozor u takto vysokých staveb, jsou specifické části stavby. Třeba okolo otvorů vnitřních schodišť (okna, dveře, **vzduchotechnické vyústky** apod.) musí být zateplovací systém ETICS v požární kvalitě A1 nebo A2 a to do vzdálenosti 1,5 m všemi směry od těchto otvorů a to po celé výšce objektu, neboť se tím chrání vertikální únikové cesty z objektu.

Požární dveře strojoven vzduchotechniky (článek 5.5.8)

Obecně platí zásada, že požární uzávěry otvorů (např. požární dveře) musí být při požáru uzavřeny a vybaveny samouzavíracím zařízením, které automaticky (prostřednictvím systému EPS) zajistí jejich uzavření, pokud jsou při běžném provozu v otevřené poloze. U strojoven vzduchotechniky a obdobných technických prostorů (bez výskytu osob trvalého, dočasného nebo přechodného charakteru), pokud neústí do chráněných únikových cest, se samouzavírací zařízení nepožaduje, neboť se předpokládá jejich trvalé uzavření.

Vzduchotechnické vyústky v zavěšených podhledech s požárně ochrannou funkcí (článek 5.6.3)

Požární stropy se zavěšenými podhledy (tj. podhledy s nezávislou funkcí), kde se mezi podhledovou a stropní konstrukcí vyskytuje požární zatížení, přičemž **podhled má požárně ochrannou funkci**, se posuzují dvojím způsobem. Buď jako dvě samostatné vodorovné konstrukce a prostor mezi podhledem a stropem se považuje za samostatný požární úsek. Nebo jako jeden celek.

Pokud je prostor nad podhledem navrhován jako samostatný požární úsek, pak se na podhledovou konstrukci vztahují stejné požadavky jako na jakoukoli jinou požárně dělicí konstrukci. **Vzduchotechnické vyústky** osazené v těchto podhledech musí být řešeny včetně bezprostředně navazujících požárních klapek. Pokud podhledem prostupuje **vzduchotechnický rozvod**, posuzuje se jako prostup požárně dělicí konstrukcí (viz podkapitola níže, článek normy 6.2).

Pokud je požární strop se zavěšeným podhledem řešen jako jeden celek, musí mít podhled požární klasifikaci EI (celistvost a izolační schopnost) při působení požáru z dolní strany. V případě **vzduchotechnických vyústek** osazených v tomto podhledu by po vzniku požáru vždy mělo být navazující požárně nechráněné potrubí samočinně požárně uzavřeno. Tj. **požární klapky** v tomto vzduchotechnickém potrubí budou osazeny na hranici požárního úseku neboli v příslušné požárně dělicí konstrukci (strop, stěna).

Vzduchotechnické rozvody ve zdvojených a dutinových podlahách (článek 5.8)

Zdvojené (tj. zvýšené) a dutinové podlahy nad požárním stropem nebo stropem užitného podlaží uvnitř požárního úseku, kde se vyskytuje požární zatížení mezi stropem a zvýšenou podlahou nebo v prostoru dutých mezistropů se z požárního hlediska hodnotí buď jako samostatné požárně dělicí konstrukce (pak prostor mezi stropem a zdvojenou podlahou se považuje za samostatný požární úsek), nebo jako konstrukce uvnitř jednoho požárního úseku bez požárně dělicí funkce.

Pokud je ve zdvojené podlaze požární zatížení větší než 15 kg/m^2 (o této hodnotě rozhoduje projektant požárně bezpečnostního řešení) a vnitřní výška je větší než 25 cm, nebo bez ohledu na tuto výšku je podlahová konstrukce nebo podpůrná konstrukce této podlahy z výrobků třídy reakce na oheň C až E (nášlapná vrstva podlah se do tohoto hodnocení nezahrnuje), potom se vždy musí tento prostor řešit jako samostatný požární úsek (za požární zatížení se přitom nepovažují **vzduchotechnické rozvody** vedené v potrubí třídy reakce na oheň A1

neboli rozvody **z ocelového potrubí**). V přízemí nepodsklepených objektů se limity požárního zatížení vztahují k prostoru mezi podlahou a zdvojenou podlahou.

Jestliže zdvojenou nebo dutinovou podlahou s požárně dělicí funkcí prostupují **vzduchotechnické rozvody** (nebo zařízení), posuzují se jako prostup požárně dělicí konstrukcí (viz podkapitola níže, článek normy 6.2).

Projektanti vzduchotechniky musí brát tyto nové protipožární limity v úvahu zejména v případě aktuálně se uplatňujících **rekuperačních vzduchotechnických systémů pro nízkoenergetické domy**, kde jsou potrubní rozvody vedeny v podlahách, stropech nebo podstropních podhledech, přičemž materiál těchto vzduchovodů je z plastů. Návrh se musí řešit v součinnosti s projektantem požární bezpečnosti staveb tak, aby byl větrací systém bezpečný i z hlediska požární ochrany.

Těsnění prostupů vzduchotechnického potrubí a potrubí ZOKT (článek 6.2)

Rozvody vzduchovodů mají být navrženy tak, aby co nejméně prostupovaly požárně dělicími konstrukcemi. Prostupy musí být řešeny vždy tak, aby se jimi nemohl šířit požár a jeho zplodiny. Z hlediska požární bezpečnosti rozeznáváme pro oblast vzduchotechniky a požárního větrání tři druhy potrubí:

- běžné vzduchotechnické potrubí,
- požárně odolné vzduchotechnické potrubí (tj. chráněné vzduchotechnické potrubí),
- potrubí pro odvod kouře a tepla.

Každý tento druh potrubí má svá specifika včetně způsobu těsnění prostupů požárně dělicími konstrukcemi.

Pro **běžné vzduchotechnické potrubí** platí požadavek, že stavební konstrukce, jimiž potrubí prostupuje, musí být dotaženy až k vnějšímu povrchu potrubí a dále musí být prostupy navrženy a realizovány v souladu s normou ČSN 73 0872 [2] a dalšími normami [3, 4, 5]. Tj. především musí být zabezpečeny **požárními klapkami**. Pro požární klapky platí harmonizovaná (výrobková) norma [6], zkušební norma [7] a klasifikační norma [8]. Osazení požární klapky v požárně dělicí konstrukci v sobě současně zahrnuje i těsnění prostupu neboli prostoru mezi klapkou (vč. navazujícího potrubí) a touto stavební konstrukci. Výrobci požárních klapek testují jejich instalace v různých typech stavebních konstrukcí ve zkušebních pecích autorizovaných (notifikovaných) zkušeben. Na základě výsledků zkoušek pak předepisují ve svých technických podkladech způsob, jakým musejí být ve stavbě zabudovány, aby plnily řádně svoji funkci.

Těsnění prostupů **požárně odolného vzduchotechnického potrubí**, které je v národní normě [2] označováno jako chráněné potrubí a **potrubí pro odvod kouře a tepla** je vždy řešeno v rámci odzkoušených a klasifikovaných řešení. Pro tyto dva druhy potrubí platí speciální samostatné normy, podle nichž se potrubí ověřuje a zatřiďuje, a to včetně způsobu těsnění prostupu požárně dělicí konstrukcí. **Pro požárně odolné VZT potrubí platí** zkušební norma [9], klasifikační norma [8] a norma rozšířených aplikací [10], harmonizovaná (výrobková) norma dosud vydána nebyla, ale je v přípravné fázi pod označením prEN 15871(Ventilation for buildings — Fire resisting duct sections). **Pro potrubí pro odvod kouře a tepla platí** harmonizovaná (výrobková) norma [11], zkušební norma pro single potrubí [12], zkušební norma pro multi potrubí [13] a klasifikační norma [14]. Těsnění prostupů u obou druhů potrubí tedy nemůže být provedeno libovolným způsobem, ale pouze v souladu s odzkoušeným a klasifikovaným řešením.

Pokud nelze z provozních nebo technických důvodů zajistit u prostupů úpravy požadované článkem 6.2 normy [1], například skupina obtížně přístupných prostupů s nekontrolovatelným utěsněním nebo prostupy, které nelze odzkoušet a klasifikovat, může být těsnění prostupů nahrazeno jiným řešením posouzeným autorizovanou osobou (zkušebnou).

Zakrytá atria (článek 8.2)

Jsou-li zakrytá atria **požárně odvětraná**, tj. jsou vybavena zařízením pro odvod kouře a tepla ZOKT (přirozeným nebo nuceným), v souladu s požadavky norem [15] a [16] a nemají požárně dělicí ani nosnou funkci, pak jejich střešní pláště nemusí vykazovat požární odolnost.

Toto ustanovení je nutné znát, pokud se řeší požární větrání atrií, neboť je zde přímá vazba mezi zařízením ZOKT a stavbou. Nezbytné je samozřejmě správné vyhodnocení a výpočet teploty kouře pod střechou atria. Pokud by teplota kouře měla dosahovat v návrhovém čase teplot kolem 200 °C a vyšší (vyvoláno například vysokým požárním zatížením v nejvyšším podlaží přiléhajícím k atriu), vzniká zde riziko šíření požáru. Proto je nutno tuto situaci řešit s projektantem požárně bezpečnostního řešení a projektantem stavby, neboť může vést až k rozhodnutí a požadavku na provedení střešního pláště s požární odolností, což samozřejmě zvyšuje investiční náklady stavby.

POŽADAVKY NA VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY

Těmto požadavkům je věnována celá Kapitola 9 normy [1]. Pozornost je soustředěna na dva hlavní komponenty vzduchotechnických systémů, které mají zásadní význam při šíření požáru: na **potrubní rozvody** a na **požární klapky**. Všechny články Kapitoly 9 jsou, oproti původní úpravě, srozumitelněji přeformulovány a upřesněny a některé články jsou zcela nové.

Potrubí vzduchotechnických systémů (článek 9.1)

Technická norma [1] stanovuje požadavky na takové části vzduchovodů, které musí vykazovat **požární odolnost**. Neboli na takové vzduchotechnické potrubí, které je v národní normě [2] - ČSN 73 0872 označováno jako **chráněné potrubí** a v evropské normalizaci jako **požárně odolné vzduchotechnické potrubí**. Z hlediska působení požáru se toto potrubí člení podle směru tepelného namáhání na potrubí zatěžované **z vnější strany** (označení „i ← o“), **z vnitřní strany** (označení „i → o“), **z obou stran** (označení „i ↔ o"). A dále se potrubí dělí s ohledem na polohu při požáru (**vertikální, horizontální**). Typ potrubí určí projektant požárně bezpečnostního řešení v závislosti na konkrétné aplikaci v návaznosti na členění objektu do požárních úseků a jejich požárního rizika; není-li poloha specifikována, musí potrubí splňovat požadavky na obě orientace.

Navrhování (projektování) požárně odolného vzduchotechnického potrubí se řídí podmínkami, které jsou stanoveny ve dvou národních normách [1] a [2] a v souladu s evropskou normou [15].

Požárně odolné potrubí se **zkouší** podle normy [9] a **klasifikuje** podle normy [8] případně [10]. V klasifikačním protokolu uvede zkušebna všechny parametry potrubí, pro které může být na stavbě aplikováno. Projektant vzduchotechniky musí navrhnout a v projektové dokumentaci požadovat takovou kvalitu potrubí, která odpovídá příslušnému navrhovanému požárnímu riziku v konkrétní aplikaci. Například klasifikace **EI 60 (ve ho „i ← o“) S** znamená, že vzduchovod zachová svoji celistvost **(E)**, izolační schopnost **(I)** a kouřotěsnost **(S)** po dobu **60 minut**, je-li orientováno vodorovně **(ho)** nebo svisle **(ve)** a požár na něj působí z vnější strany **(„i ← o“)**. **Mezní rozměry** tohoto potrubí jsou 1250x1000 mm (pravoúhlé potrubí) a ∅ 1000 mm (kruhové potrubí), v případě prokázané rozšířené aplikace podle normy [10] pak 2500x1250 mm nebo ∅ 2500 mm.

Závěsy požárně odolného vzduchotechnického potrubí jsou vždy součástí systémového celku tohoto potrubí (tedy součástí zkoušky a následné klasifikace potrubí). **Stavební konstrukce nesoucí požárně odolné potrubí** musí vykazovat třídu požární odolnosti **(R)** tedy nosnost, které zajišťuje stabilitu potrubí nejméně po dobu požární odolnosti tohoto potrubí (R ≥ EI). Potrubí tedy nelze upevňovat k jakékoli stavební konstrukci, ale k takové, která má klasifikaci **REI** a příslušnou dobu požární odolnosti (např. 60 minut).

Příkladem požáru působícího na vzduchotechnické potrubí z vnější strany, může být situace, kdy vzduchovod od větracího zařízení, které jinak větrá prostor bez požárního rizika (např. WC, sprchy) prochází bez vyústek jiným požárním úsekem, kde požární riziko je (např. kanceláře). Dalším příkladem je nucené větrání chráněné únikové cesty bytového domu (tedy prostor bez požárního rizika), kdy přívodní vzduchotechnické potrubí prochází přes sklepní kóje (čili prostor s požárním rizikem).

Příkladem, kdy musíme požadovat provedení vzduchotechnického potrubí namáhaného požárem z vnitřní strany, je u takového zařízení, které větrá prostor s požárním rizikem (např. sklady) a vzduchovod dále prochází bez vyústek chráněnou únikovou cestou, pak úsek vzduchovodu v CHÚC musí být odolný působení požáru z vnitřní strany.

Zvýšenou pozornost musíme také věnovat konkrétním podmínkám v různých technologických a výrobních procesech. Zde se mohou vyskytovat aplikace, kde působení požáru na vzduchotechnické potrubí může být z obou stran.

Požární klapky vzduchotechnických systémů (článek 9.2)

Požární klapky slouží k uzavření vnitřního prostoru vzduchotechnického potrubí, aby se jím nemohl šířit požár a zplodiny hoření. Osazují se na rozhraní požárních úseků v místě prostupu požárně dělicí konstrukcí.

Navrhování (projektování) požárních klapek se řídí podmínkami, které jsou stanoveny ve dvou národních normách [1] a [2] a v souladu s evropskou normou [15].

Požární klapky se **vyrábí** podle harmonizované normy [6], **zkouší** se podle normy [7] a **klasifikují** podle normy [8] případně [16]. V klasifikačním protokolu uvede zkušebna všechny parametry požární klapky, pro které může být ve stavbě aplikovaná. Klasifikace požárních klapek má pochopitelně obdobnou strukturu, jako klasifikace požárně odolného vzduchotechnického potrubí (viz předchozí podkapitola). Tj. například **EI 90 (ve ho „i ← o“) S**, což znamená, že požární klapka zachová svoji celistvost **(E)**, izolační schopnost **(I)** a kouřotěsnost **(S)** po dobu **90 minut**, je-li orientována vodorovně **(ho)** nebo svisle **(ve)** a požár na ni působí z vnější strany **(„i ← o“).**

Národní norma [1] stanovuje základní (minimální) požadavek na požární klasifikaci těchto klapek. Ta musí být ve formě **EI**, kromě některých zvláštních případů:

- Klasifikaci **EI-S** (tedy přísnější) musí vykazovat požární klapky v některých objektech **zdravotnických** a v některých typech vnitřních **shromažďovacích** prostorů. Jde o lůžková zdravotnická zařízení typu LZ 2 podle normy [17], pokud oddělují požární úseky s možností výskytu pacientů a dále jde o hranice požárních úseků shromažďovacích prostorů typu ≥2 SP / VP 3 nebo ≥3 SP / VP 2 podle normy [18] a o hranice požárních úseků únikových cest z těchto shromažďovacích prostorů.

- Klasifikace **E** (tedy méně přísná) postačuje u požárních klapek, je-li splněna alespoň jedna z následujících podmínek: a) jde o požární úsek v I. stupni požární bezpečnosti, nebo b) jde o požární klapku mezi požárními úseky, které jsou vybaveny systémem SHZ, DHZ

(sprinklerová stabilní hasicí nebo doplňková hasicí zařízení) nebo jiná stabilní hasicí zařízení (mlhová, sprejová, pěnová, plynová, prášková, aerosolová) podle článku 11.1.4 normy [1].

Požární klapky se musí, stejně jako dosud, **uzavírat samočinně** (impulsem z prostoru potrubí nebo impulsem ze vzniku požáru v přilehlých požárních úsecích). **Pokud je** v požárním úseku **požadována EPS** (elektrická požární signalizace) některou normou nebo právním předpisem, pak zde musí být **v nových objektech** požární klapky **ovládány** (uzavírány) také **systémem EPS**.

Požární klapky se osazují podle odzkoušených a klasifikovaných řešení, které uvádí výrobce klapek ve svých technických podmínkách.

Novinkou jsou požadavky na požární klapky, jejichž **provoz je výrazně odlišný od běžných podmínek**, než na které jsou podle zkušebních norem testovány, a které mohou negativně ovlivnit jejich funkci. Jde například o odvod chemických škodlivin, agresivních aerosolů, prašných látek, extrémně vlhkých vzdušnin apod. Tyto klapky se navrhují v součinnosti s výrobci (speciální doplňkové zkoušky požárních klapek, zvláštní režim a četnost periodických kontrol provozuschopnosti apod.) Vždy je doporučováno takové řešení, aby požární klapky nebylo nutné navrhovat, tj. aby vzduchotechnické zařízení sloužilo jednomu požárnímu úseku, je-li to dispozičně a provozně možné.

Pokud se ve stavbě vyskytují v požárních stěnách či stropech tak zvané **nepotrubní větrací otvory**, sloužící při běžném provozu k větrání prostorů jiného požárního úseku, musejí být řešeny jako požární uzávěry těchto otvorů s klasifikací EI, EI-S nebo E, případně EI-S_a nebo EI-Sm (kouřotěsnost s indexem a je testována při 20 °C, s indexem m při 200 °C). Jde například o žaluzie, stěnové uzávěry, zpěňovací mřížky, požární ventily apod. Pokud mají tyto otvory plochu maximálně **0,09 m^2** (tj. např. do 300x300 mm), pak postačuje jejich klasifikace E 15 (ve stěnách s REI 30, EI 30 nebo EW 30) nebo E 30 (ve stěnách REI 45, EI 45 nebo EW 60), avšak nesmí vést do chráněné únikové cesty, nesmí mít celkovou plochu větší než 1/100 plochy požární stěny v níž se nacházejí a musí být výrobkem třídy reakce na oheň A1 až B. Tyto malé uzávěry otvorů se hodnotí podle normy [18] a k jejich uzavření musí samočinně dojít nejpozději do 120 sekund od vzniku požáru. Mají-li nepotrubní větrací otvory plochu větší než 0,09 m^2 (nebo jsou ve stěnách s požární odolností vyšší než 60 minut), zajišťuje se jejich uzavírání prostřednictvím klasických požárních uzávěrů.

Další novinkou jsou požadavky na **větrací otvory** v požárně dělicích konstrukcích požárních úseků **chráněných únikových cest** nebo částečně chráněných únikových cest. Ty musí vykazovat klasifikaci EI, nebo EI-S (resp. EI-Sm) a musí být ovládány (uzavírány) systémem EPS nebo jiným stejně citlivým zařízením (například lokální detekcí požáru podle normy [19]).

POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ PRO ODVOD KOUŘE A TEPLA

Těmto požadavkům je věnována celá Kapitola 10 normy [1]. Jde o poměrně rozsáhlou kapitolu, v níž jsou všechny články, oproti původní úpravě, srozumitelněji přeformulovány a upřesněny, přičemž některé články jsou zcela nové. Rozsah změn přesahuje limitované možnosti tohoto příspěvku, proto budou zdůrazněny pouze nejpodstatnější novinky.

Zařízení pro odvod kouře a tepla (zkratka ZOKT) je specifickou disciplínou zahrnovanou pod obecný pojem požární větrání. **ZOKT je vyhrazené požárně bezpečnostní zařízení** se všemi právními atributy [20] s tím spojené. V normách požární bezpečnosti staveb se pro toto zařízení používá termín samočinné odvětrávací zařízení (zkratka **SOZ**). Návrh ZOKT navazuje na požárně bezpečnostní řešení stavebního objektu a na požadavky v něm stanovené.

Dokumentace ZOKT se řeší jako samostatné **nevýrobní technologické zařízení** [21] a nezačleňuje se tedy do souboru Technika prostředí staveb, kde je vzduchotechnika a další profese.

Pro klasifikaci ZOKT platí norma [14]. Součástí systémů ZOKT však mohou být i standardní výrobky (např. vodorovně posuvné dveře, vrata apod.), pokud jsou používány pro přívod vzduchu.

ZOKT se navrhuje podle zásad uvedených v normách ČSN 73 0802 nebo ČSN 73 0804. Jeho **aktivace musí být zajištěna v časovém algoritmu určeném v požárně bezpečnostním řešení**.

Potrubí pro odvod kouře a tepla (článek 10.2)

Toto potrubí se zkouší podle normy [12] - multi provedení nebo podle normy [13] - single provedení a klasifikuje podle normy [14] podle vztahu na požární úseky, v nichž je instalováno.

Při návrhu zařízení ZOKT (tj. v projektové dokumentaci) musí být stanovena **klasifikace potrubí**. V normě [1] je uveden příklad klasifikace pro multi potrubí **EI 30 (ve) S 1000 multi** i pro single potrubí **E_{300} 60 (ho) S 500 single** včetně příslušných vysvětlivek.

Mezní rozměry potrubí ZOKT jsou 1250x1000 mm (pravoúhlé potrubí) a Ø 1000 mm (kruhové potrubí).

Potrubí ZOKT může být užito i jako potrubí běžných vzduchotechnických systémů.

Klapky pro odvod kouře (článek 10.3)

K názvu tohoto článku 10.3 je v normě [1] uvedena vysvětlující poznámka, která říká, že v některých normách se dosud používá termín "kouřová klapka". V původní normě [1] měl článek 10.3 název **Kouřové klapky v potrubí**. Tím bylo terminologicky jednoznačně stanoveno, že použití těchto klapek je v potrubních, tj. nucených, systémech ZOKT. Pojem "kouřová klapka" pro ZOKT navíc velmi dobře korespondoval s pojmem "požární klapka" pro vzduchotechnická zařízení.

Klapky pro odvod kouře se klasifikují podle normy [14]. Při návrhu (tj. v projektové dokumentaci) musí být stanovena **klasifikace klapek pro odvod kouře**. Klasifikace těchto klapek (včetně procesu zkoušení v peci) je výrazně komplikovanější, proto je v normě [1] uveden příklad takové klasifikace: **EI 60 (v_{ed}-h_{od}-i↔o) S 500 C_{300} HOT 400/30 AA multi** včetně příslušných vysvětlivek.

Kouřové zábrany (kouřové přepážky) (článek 10.4)

Kouřové zábrany se klasifikují podle normy [14] jako samostatný výrobek, který je ověřován z hlediska zachování stability a celistvosti při teplotě 600 °C (jde o **klasifikaci D**). Obvykle postačuje klasifikace **D_{600}30**, případně **D_{600}60**, pokud ostatní komponenty zařízení ZOKT jsou navrženy na dobu požární odolnosti **30** minut nebo **60** minut. Je-li výrobek ověřován při vyšších teplotách (podle normové teplotní křivky) jde o **klasifikaci DH**, například **DH 30**.

Kouřové zábrany mohou být pevné nebo pohyblivé.

Kouřové zábrany oddělující kouřové sekce v rámci požárního úseku mohou tvořit příčky, plnostěnné vazníky a jiné nosné části stavebních konstrukcí, pokud je zajištěna jejich stabilita a požární odolnost - celistvost po dobu 15 minut.

Zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla (článek 10.5)

Pro zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla platí ČSN EN 12101-2. Jde především o **střešní** nebo **stěnové** (odvětrací) **klapky** sloužící pro přirozený odvod horkých plynů. Klasifikují se podle normy [14], celková doba zkoušky je 30 minut, takže **požární odolnost** všech těchto klapek je rovněž **30 minut**. Ověřují se **podle teplot plynů**, jimž jsou vystaveny: do **300 °C**, do **600 °C** nebo do **teploty θ**, kterou si určí výrobce pro testování ve zkušební peci. **Klasifikace** zařízení pro přirozený odvod kouře a tepla má tuto podobu: **B_{300} 30, B_{600} 30,** případně **B_{θ} 30**.

Důležité je vědět, že u těchto zařízení se stanovují také **aerodynamické vlastnosti** (výtokový součinitel, aerodynamicky účinná plocha), **spolehlivost zařízení** (stanovený počet cyklů pro otevření a zavření), otevírání zařízení při **zatížení sněhem a větrem** a schopnost otevíracího mechanismu **fungovat při nízkých okolních teplotách**.

Při návrhu těchto klapek ZOKT je nutno uvažovat s působením externích vlivů jako je zatížení větrem (**klasifikace WL**), zatížení sněhem (**klasifikace SL**), teplotou okolí apod., pokud nejsou klapky ZOKT před těmito vlivy chráněny. Bližší podrobnosti viz článek 10.5.2 normy [1].

Stanovené klasifikace musí být uvedeny jako součást projektu ZOKT.

Zařízení pro nucený odvod kouře a tepla (článek 10.6)

Nucený odvod kouře a tepla je zajišťován speciálními (požárními) **ventilátory** pro které platí ČSN EN 12101-2. Tyto ventilátory se klasifikují se podle normy [14], ověřují se jejich vlastnosti podle teploty plynů (do 200 °C, do 300 °C, do 400 °C, do 600 °C, do 842 °C) a funkčnost po dobu 30 až 120 minut. **Klasifikace ventilátorů** má některou z těchto možností: **F_{200} 120, F_{300} 60, F_{400} 90(120), F_{600} 60, F_{842} 30**. Označení ventilátoru například F_{300} 60 značí, že ventilátorem mohou být odváděny horké plyny teploty do 300 °C po dobu 60 minut.

U těchto ventilátorů se ještě stanovují **třídy použití** (izolované nebo neizolované, do zakouřeného nebo nezakouřeného prostoru, dvojúčelové nebo pouze pro nouzový stav, požadující potrubní přívod chladicího vzduchu). Dále se zkouší **zatížitelnost elektromotoru**, **průtok** a **tlak**, **teplota vnějšího povrchu izolovaných ventilátorů**, **zatížení větrem** a **sněhem** a **funkce při nízkých teplotách**.

ZÁSADY PŘI POSUZOVÁNÍ SOUČINNOSTI AKTIVNÍCH POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍCH A JINÝCH ZAŘÍZENÍ

Této problematice je věnována Příloha B normy [1]. Jde o zcela přepracovanou a nově koncipovanou informativní přílohu, která má mimořádnou úlohu při návrhu algoritmu optimální součinnosti a časové provázanosti aktivních požárně bezpečnostních zařízení (PBZ) s cílem dosažení jejich maximálního účinku při zajištění ochrany v případě požáru.

Požární ochrana se soustřeďuje především na bezpečnost osob, účinný hasební zásah, ochranu majetku a životního prostředí.

Hlavní roli při součinnost aktivních PBZ mají tři zařízení: elektrická požární signalizace (**EPS**), samočinné stabilní hasicí zařízení (**SSHZ**) a zařízení pro odvod kouře a tepla (**ZOKT**). Důležitou úlohu mají i další zařízení jako jsou poplachové sirény, větrání chráněných únikových a zásahových cest, požární klapky, zařízení dálkového přenosu na hasičský dispečink, nouzové osvětlení, běžná vzduchotechnika, vypnutí dodávky plynu, náhradní zdroj elektrické energie atd. Správná funkce všech těchto zařízení je podmíněna **stanovením priority uvedení do činnosti** (tj. které zařízení bude uvedeno do činnosti jako

první, a která následně), **návrhem koordinace jejich činnosti** (nastavení logické časové posloupnosti aktivace navazujících operací jednotlivých zařízení) a **posouzením jejich interakcí** (pochopení a předvídání vzájemného ovlivňování při společném působení s cílem zabránit negativnímu ovlivňování).

Priorita uvedení zařízení do činnosti vychází z analýzy tří aspektů:

1. **důvod instalace** (stanovit co má přednost: zajištění bezpečnosti osob, ochrana majetku, zabezpečení účinného hasebního zásahu, ochrana životního prostředí nebo jejich kombinace),

2. **naplnění ochranných cílů** (stanovit ochranné cíle: například dodržení výšky kouřoprosté vrstvy vzduchu nad podlahou, nepřekročení limitních teplot konstrukcí stavby nebo uložených materiálů, nepřekročení mezních parametrů požáru atd.),

3. **dodržení návrhových hodnot ochranných cílů** (stanovit konkrétní číselné hodnoty ochranných cílů: například 2,5 m výšky kouřoprosté vrstvy vzduchu nad podlahou nebo maximální teplota pro uložené materiály 150 °C apod.).

Vzájemný vztah mezi důvody instalace, ochrannými cíly, návrhovými hodnotami ochranných cílů a **doporučenou prioritou** uvedení zařízení do činnosti přináší Tabulka B.1.

Návrh **koordinace činností** jednotlivých zařízení vychází ze specifikace logicky navazujících postupů při protipožární ochraně. Počínaje detekcí požáru a jeho ověřením v příslušných časových limitech, přes způsob vyhlášení poplachu v objektu, ohlášení požáru jednotce požární ochrany, aktivování požárně bezpečnostních zařízení (SHZ, ZOKT, požární klapky, větrání CHÚC, odblokování dveří na únikových a zásahových cestách, evakuační a požární výtahy, ...), otevření vjezdových závor do areálu, vypnutí stanovených elektrických zařízení a dodávky plynu, start náhradních zdrojů elektrické energie zajišťujících chod požárně bezpečnostních zařízení, a dalších operací vztahujících se ke konkrétní stavbě.

Posouzení interakce požárně bezpečnostních zařízení se vztahuje především na vzájemné ovlivňování funkce samočinných stabilních hasicích zařízení (SSHZ) všech možných druhů s funkcí ZOKT. Doporučené kombinační možnosti jednotlivých druhů SSHZ a ZOKT jsou uvedeny v Tabulce B.2. Další interakční podrobnosti jsou v článku B.14 této přílohy.

S Přílohou B je nutno se podrobně seznámit, aby spolupráce odborníků (projektantů) na požární bezpečnost staveb, stabilní hasicí zařízení, ZOKT a další profese vedla ke kvalifikovanému řešení jejich návrhů ve všech potřebných souvislostech.

ZÁVĚR

V revidované normě ČSN 73 0810 vydané v červenci 2016 se odráží pokrok a vývoj v oblasti požární bezpečnosti staveb. Norma zpřesňuje a doplňuje předchozí znění této normy z roku 2009, reaguje na změny v právních předpisech i na vývoj evropských norem. Nemalá část změn a novinek se dotýká rovněž oblasti vzduchotechniky a požárního větrání. Pro odborníky uvedených specializací nechť je tento příspěvek užitečným pomocníkem v jejich profesní činnosti.

LITERATURA

[1] ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení. 2016

[2] ČSN 73 0872. Požární bezpečnost staveb - Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením. 1996.

[3] ČSN 73 0802. Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. 2009. Změna: Z1, 2013. Změna: Z2, 2015.

[4] ČSN 73 0804. Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty. 2010. Změna: Z1, 2013. Změna: Z2, 2015.
[5] ČSN 65 0201. Hořlavé kapaliny - Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci. 2003. Změna: Z1, 2006.
[6] ČSN EN 15650. Větrání budov - Požární klapky. 2012.
[7] ČSN EN 1366-2. Zkoušení požární odolnosti provozních instalací - Část 2: Požární klapky. 2015.
[8] ČSN EN 13501-3 + A1. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 3: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti výrobků a prvků běžných provozních instalací: požárně odolná potrubí a požární klapky. 2010.
[9] ČSN EN 1366-1. Zkoušení požární odolnosti provozních instalací - Část 1: Vzduchotechnická potrubí. 2015.
[10] ČSN EN 15882-1. Rozšířená aplikace výsledků zkoušek požární odolnosti provozních instalací - Část 1: Požárně odolná vzduchotechnická potrubí. 2012.
[11] ČSN EN 12101-7. Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla – Část 7: Potrubí pro odvod kouře. 2011.
[12] ČSN EN 1366-9. Zkoušení požární odolnosti provozních instalací - Část 9: Potrubí pro odvod kouře z jednoho úseku. 2008.
[13] ČSN EN 1366-8. Zkoušení požární odolnosti provozních instalací - Část 8: Potrubí pro odvod kouře. 2014.
[14] ČSN EN 13501-4. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 4: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti prvků systémů pro usměrňování pohybu kouře. 2016.
[15] ČSN EN 15423. Větrání budov - Protipožární opatření vzduchotechnických systémů. 2011.
[16] ČSN EN 15882-2. Rozšířená aplikace výsledků zkoušek požární odolnosti provozních instalací - Část 2: Požární klapky. 2015.
[17] ČSN 73 0835. Požární bezpečnost staveb - Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče. 2006.
[18] ČSN EN 13501-2 + A1. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení. 2010.
[19] ČSN 73 0875. Požární bezpečnost staveb - Stanovení podmínek pro navrhování elektrické požární signalizace v rámci požárně bezpečnostního řešení. 2011.
[20] Vyhláška č. 246/2001 Sb., o požární prevenci, ve znění vyhlášky č. 221/2014 Sb.
[21] Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění vyhlášky č. 62/2013 Sb.

MOŽNOSTI VYUŽITÍ INTERNETU VĚCÍ V ZAŘÍZENÍCH VZT

Ing. Jan Vidim[1], Ing. Martin Chlupáč[2]

[1]Domat Control System, s.r.o., [2]Energocentrum Plus, s.r.o.

jan.vidim@domat.cz, martin.chlupac@energocentrum.cz

ANOTACE

Pojem „internet věcí“ (Internet of Things, IoT) jistě slyšel už každý z nás. Popularizační články, které představují možnosti jeho využití, pravidelně zmiňují jako jednu z klíčových oblastí nasazení sběr dat z měřičů energií, odečty teplot a hlášení alarmových stavů. Přesně to jsou údaje, které nás zajímají při dálkové správě vzduchotechnických, klimatizačních a filtračních jednotek a dalších zařízení pro úpravu a distribuci vzduchu. V následujícím textu se podíváme na IoT z hlediska vzduchotechnika a ukážeme si, jak se v současnosti dá – nebo nedá – využít v tomto oboru.

ÚVOD

Základním požadavkem na IoT je přenos informací z velkého množství měřicích míst. „Velké množství“ zde znamená stovky tisíc až desítky miliónů, což jsou počty zařízení, na které je komunikační struktura IoT dimenzována. Přenášená data mají malý objem (řádově bajty až desítky bajtů, což odpovídá např. aktuální teplotě nebo naměřenému množství energie) a komunikují se s relativně dlouhými intervaly (obvykle desítky minut až desítky hodin, nejkratší dosažitelný pravidelný interval je kolem 5 minut). Některé technologie IoT navíc umožňují pouze jednosměrný přenos dat, tedy od senzoru (čidla, měřiče, kontaktu...) na server, nikoli obráceně. Zařízení v tom případě není možné povelovat. Už teď vidíme zásadní rozdíl mezi klasickým připojením na dispečink pomocí pevného internetu či mobilního spojení (GPRS, LTE...) a přenosem dat v síti IoT. Nejvýznamnější rozdíly shrneme v tabulce:

Tab. 1 *Rozdíly vůči klasickému datovému spojení*

Vlastnost	IoT	Klasické datové spojení
Počet komunikačních uzlů	desítky tisíc a více	max. řádově tisíce
Objem přenášených dat z jednoho uzlu	malý (do cca. 20 hodnot)	velký (tisíce i více hodnot z jednoho zařízení)
Frekvence odečtů	Typicky 5 minut až hodin	prakticky okamžitá odezva (v řádu sekund)
Možnost povelování	jen u vybraných technologií či provozních módů	ano
Náklady na instalaci	velmi nízké (mechanická montáž)	tisíce až desetitisíce Kč / zařízení

V tabulce chybí důležitá položka, kterou jsou provozní náklady. Ty se ale odvíjejí od obchodního modelu, který dále závisí na použité technologii. Proto se nyní seznámíme s dostupnými technologiemi a jejich vlastnostmi.

Základní požadavky na technologie IoT byly zejména tyto:

- Levné senzory pro sběr malého počtu hodnot, nezávislost na přívodu energie, tedy napájení z baterií nebo pomocí energy harvestingu (např. solární články) kvůli mobilitě
- Co nejdelší výdrž baterií (jeden z důvodů, proč je tak velký interval mezi odečty)
- Možnost připojení řádově desítek miliónů zařízení do sítě (toto je druhý důvod)
- Radiová síť, která pokrývá území, na němž jsou služby nabízeny
- Dobrá prostupnost i do míst, kde jsou problémy s běžným mobilním signálem (sklepy, garáže...)
- Mobilita, tedy funkčnost senzorů po celém území pokrytí i při jejich přemisťování
- Infrastruktura pro sběr dat a přenos do aplikace zákazníka.

SÍTĚ NA ÚZEMÍ ČR

V současné době jsou v ČR v provozu (plném nebo zkušebním) tyto sítě:

Sigfox

Francouzská společnost Sigfox je v ČR zastupována firmou SimpleCell, která využívá infrastrukturu T-Mobile. Na ni SimpleCell připojuje vlastní zařízení pro sběr a přenos dat IoT a tím zajišťuje pokrytí a přenos na servery Sigfox. SimpleCell poskytuje podporu integrátorům, což jsou firmy, které plní funkci „poskytovatele dat v čitelné podobě“ a dodavatele nebo výrobce senzorů (viz níže). Od integrátorů odebírají služby distributoři, kteří hotová řešení nabízejí uživatelům. Sigfox využívá nelicencované pásmo 868 MHz. Síť Sigfox aktuálně celosvětově působí ve 33 zemích, SimpleCell pokrývá cca. 90 % území ČR a asi 30 % Slovenska a cílí na další státy v regionu.

LoRa

Tato technologie využívá tzv. rozprostřené spektrum a umožňuje definovat různé přenosové rychlosti od 0.3 kbps do 50 kbps, a to v obou směrech. Umožňuje tedy i komunikaci podobnou „trvalému“ připojení pomocí radiomodemů. LoRa řeší poměrně důkladně i šifrování dat. Technologii LoRa v ČR nasazují České Radiokomunikace, standard je ovšem otevřený a existují i sítě na komunitní nebo amatérské bázi. Příkladem komplexního řešení na standardu LoRa (senzory, síť, aplikace, tedy body 1 – 4 podle struktury níže) je AsixWAN firmy Solidus Tech. Firma dodává jak čidla, tak komunikační brány, které přes internet přenášejí data na server. Tam běží aplikace, přes kterou se k datům dostává uživatel. Celá infrastruktura tak může být plně pod kontrolou provozovatele.

NB-IoT

Narrow Band (úzkopásmová) IoT (zkráceně NB-IoT) je síť, kterou provozují mobilní operátoři v rámci sítí LTE a 5G. V ČR testuje tuto síť Vodafone. Výhodou je, že pro spuštění sítě stačí upravit software ve stanicích mobilních operátorů, není nutno instalovat zvláštní antény nebo jiný hardware. Operátoři uvádějí, že jednou z výhod je, že jde o přenos v licencovaném pásmu, což zaručuje mj. vyšší kvalitu signálu. Praktické či komerční nasazení v ČR zatím, pokud je autorovi známo, neexistuje.

ROZDÍLY VŮČI KLASICKÝM PŘENOSŮM DAT

Klasický přenos dat z řídicích systémů na centrálu, tak jak ho používáme dnes, se skládá z těchto částí:

1. **řídicí systém**, PLC, s komunikačním rozhraním – obvykle Ethernet
2. **modem nebo router** pro připojení do Internetu, WAN nebo mobilní sítě
3. **síť pro přenos dat**
4. **centrála s dispečerským softwarem**, připojená do sítě. Centrála sbírá, vizualizuje a ukládá data z více řídicích systémů (zařízení).

U systémů IoT je struktura poněkud složitější:

1. **senzor s radiovou komunikací**

   Hardware s příslušným vybavením – čidla, vstupy pro kontakty, tlačítka atd. Hardware musí být kompatibilní s příslušným systémem IoT. Po nainstalování začne senzor vysílat data, a pokud je senzor v dosahu základnové stanice sítě poskytovatele, data se přenášejí do centrálního serveru.
2. **místní poskytovatel služby přenosu dat** (např. telekomunikační společnost)

   Subjekt, který zajišťuje pokrytí vymezeného území základnovými stanicemi. Například u Sigfoxu je to v ČR (a dalších zemích) společnost SimpleCell, která spolupracuje s mobilním operátorem T-Mobile, instaluje svá zařízení na stanice T-Mobile a využívá část jeho síťové infrastruktury pro přenos svých dat. U sítí LoRa může jít o různé subjekty (např. celorepubliková síť Českých Radiokomunikací).
3. **síť pro přenos dat** (správce standardu a centrálního serveru pro přihlašování senzorů a jejich komunikaci)

   V případě standardu Sigfox je to francouzská společnost Sigfox, která v jednotlivých zemích poskytuje licenci vždy jednomu partnerovi – v ČR je jím SimpleCell.
   V případě Lory je společnost shodná s bodem 2.
4. **poskytovatel dat „v čitelné podobě“** (provozovatel zákaznického portálu, správce webového rozhraní a aplikací, zálohování dat atd.)

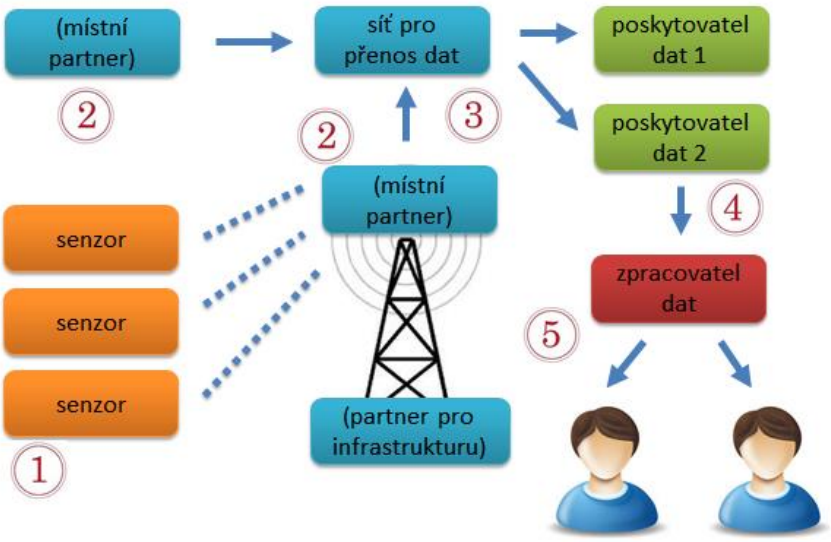
   Data, která čidla odesílají na server Sigfox, jsou „syrová“ – do 12 bajtů může senzor vložit libovolný obsah. V tomto formátu si je ze serveru Sigfox načítá i poskytovatel dat, dekóduje je, obvykle je ukládá jako historická data, a především je zpřístupňuje přes webový portál nebo strojově čitelný formát (např. XML, JSON), aby je bylo možné dále komfortně zpracovávat.

   U Lory nejsou tak přísná omezení na délku zasílaných zpráv, takže se běžně komunikují data o velikostech desítek bajtů.

   V případě Lory i Sigfoxu je tímto poskytovatelem dat „v čitelné podobě“ obvykle přímo správce přenosové sítě.
5. **zpracovatel dat / uživatel** (což navíc mohou být dva různé subjekty)

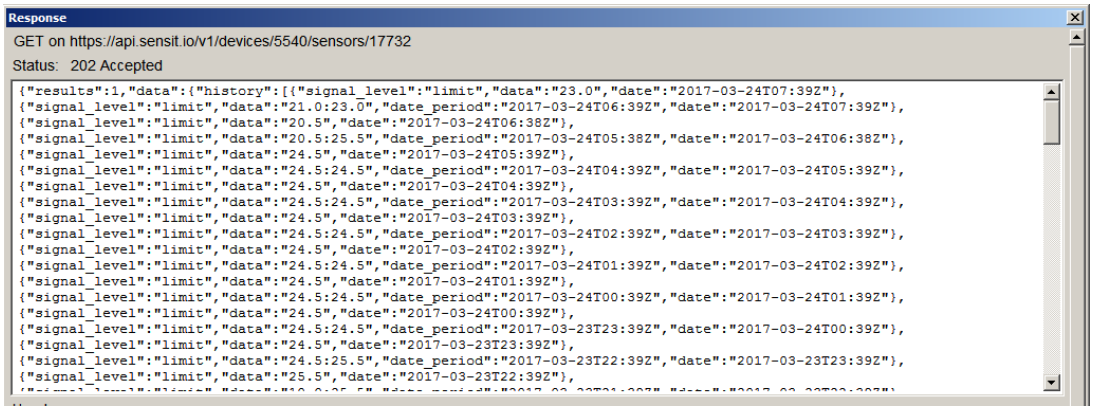
   Uživatelem může být například provozovatel tepelného hospodářství, správce nemovitosti, servisní organizace zajišťující správu kotelny atd. Někdy je mezi konečným uživatelem a poskytovatelem dat ještě firma, která např. provozuje servisní portál, a kromě dat ze senzorů do jednotného portálu integruje ještě další data, získaná jiným způsobem, než z IoT.

Každý z výše uvedených bodů může být poskytován jinou firmou, nicméně na trhu je zjevná snaha o integraci různých částí řetězce pod jednoho provozovatele. Lze si tedy koupit čidlo a podpisem jedné smlouvy vyřešit vše až do úrovně vizualizace dat. Teoreticky nejsložitější možná varianta provozu IoT sítě je znázorněna na Obr. 1.



Obr. 1 *Struktura sítě IoT*

Takto vypadá příklad „dat v čitelné podobě“, jak je dává k dispozici poskytovatel dat. Může jít i o historické hodnoty, ukládání dat má pak na starosti poskytovatel dat.



Obr. 2 *Formát pro vyčítání dat ze serveru poskytovatele*

VOLBA TECHNOLOGIE PRO KONKRÉTNÍ SCÉNÁŘE

Často se lze setkat s tím, že od se od nově příchozích technologií očekává, že „převálcují“ technologie doposud používané. Zkušenost ukazuje, že nové technologie obvykle jen rozšíří možnosti pro koncové uživatele a dobře koexistují s těmi již dobře zažitými. Případ IoT je vhodnou ukázkou tohoto principu a v následujících dvou příkladech si ukážeme základní linii rozhodování pro volbu komunikační technologie při provozování technických zařízení v budovách.

Při projektování řídicích a vizualizačních systémů se setkáváme s požadavky, které by technologie IoT mohla z technického hlediska velmi uspokojivě řešit. Jde o sledování spotřeb a základních parametrů prostředí u vzduchotechnik, klimatizací či poboček obchodních řetězců. Z každého zařízení bychom rádi odečítali s periodou maximálně 15 minut tato data:

- venkovní teplota
- 2 teploty v místnosti nebo teplota a vlhkost (příp. kvalita) vzduchu
- spotřeba tepla
- spotřeba el. energie
- sumární alarm (1 signál)

Jedná se tedy o 6 datových bodů (měřicích míst). Zpětný kanál pro ovládání není nutný, systém slouží pro vyhodnocování energetické účinnosti a hlášení alarmů, které servisní technik přijede odstranit na místo.

Senzory musejí být instalovány tak, aby zprávy z nich odesílané mohly být zachyceny základnovými stanicemi IoT sítě. U běžných jednotek na střeše až v 1. PP instalovaných v obydlených oblastech by neměl být problém. Signál ovšem nemusí být dostatečně silný v hlubších podzemních podlažích starších budov a jeho dostupnost je nutné předem ověřit, nejlépe zkušební instalací několika senzorů.

Zásadní otázkou je, kdo bude fungovat jako poskytovatel dat. U standardu Sigfox je nejjednodušší cesta poptat někoho z „platform providers“ podle adresáře na stránkách Sigfox nebo kontaktovat přímo SimpleCell, který vhodnou firmu – svého partnera – doporučí. Sám poskytovatel infrastruktury, T-Mobile, je např. jedním z takových partnerů. Poskytovatel dat nabídne platformu pro přístup k naměřeným hodnotám nebo zajistí přenos dat ze senzorů do stávajícího vizualizačního systému, který zákazník používá. Je zároveň subjektem, který uživateli fakturuje provozní náklady. Ty se dále dělí mezi poskytovatele dat (integrátory nebo distributory), poskytovatele infrastruktury a správce standardu.

Obdobně u technologie Lora se lze obrátit přímo na České Radiokomunikace nebo na některého z jejich partnerů a pro koncového uživatele je tak vyřešeno vše od registrace čidla do sítě až po zasílání dat v čitelné podobě do vizualizačního systému.

Porovnání nákladů

Jako příklad si vezměme monitoring ve výše uvedené konfiguraci. Cena IoT senzoru teploty se pohybuje kolem 2000 Kč, ostatní typy mohou být dražší. Životnost baterie je udávána na několik let. Náklady na výměnu baterií tedy nepředstavují významnou položku – i proto, že pravidelné návštěvy zařízení jsou nutné pro údržbu sledované technologie. Senzory pro jedno zařízení tedy vyjdou do 12000 Kč i s montáží. Provozní náklady silně závisejí na počtu senzorů v řešení: čím vyšší počet, tím nižší náklady na jeden senzor. Vyšším počtem jsou ovšem míněny stovky a tisíce čidel. Ceny připojení se pohybují od 250 do 500 Kč/rok, tedy na období 5 let musíme počítat s částkou asi 1250 až 2500 Kč na senzor. Za 6 senzorů je to 7500 až 15000 Kč (což je docela velké rozpětí).

Při řešení pomocí klasického PLC a připojení přes GPRS se dostáváme na následující pořizovací náklady na jedno zařízení:

Tab. 2 *Pořizovací náklady pro klasický sběr dat*

Položka	Cena
čidla pasivní, 3 ks	1000 Kč a méně
PLC s 4 vstupy pro čidla, M-Bus, 3 čítací vstupy	asi 5000 Kč
router Ethernet / GPRS + příslušenství	3000 Kč
box, instalace, kabeláž	asi 15000 Kč
celkem	**asi 24000 Kč**

Provozní náklady na internetové připojení (SIM karta s datovým tarifem cca. 500 MB) jsou do 100 Kč měsíčně. Při předpokládané životnosti 5 let jde o asi 5000 Kč. Dále potřebujeme napojení na přívod el. energie, neboť nejde o bateriovou technologii. Náklady na napájení jsou ale zanedbatelné.

Celkové srovnání obou technologií pak vypadá takto:

Tab. 3 *Srovnání nákladů na obě technologie*

	IoT	**Klasické datové spojení**
Pořizovací náklady	12000 Kč	24000 Kč
Provozní náklady na 5 let	15000 Kč	5000 Kč
Celkové náklady na vlastnictví	**27000 Kč**	**29000 Kč**

Obě technologie vycházejí srovnatelně drahé. Řešení s IoT ovšem začne zlevňovat s rostoucím počtem zařízení, případně s klesajícím počtem senzorů u jednoho zařízení a tedy větší „distribuovaností“ měření (např. místo 3 teplot a dalších údajů by stačil pouze odečet energie a sumární alarm). Pak se fixní náklady na PLC a router začnou výrazněji negativně promítat do ceny za jedno měřicí místo. Naproti tomu u klasické varianty můžeme často využít existujícího řídicího systému a ten jen připojit na centrálu, nebo výměnu řídicího systému za komunikativní spojit s rekonstrukcí technologie. Pořizovací cena hardwaru je pak zanedbatelná. U klasického monitoringu nesmíme také zapomenout na výhodu možného povelování.

Ukázková kalkulace pro připojení hlavního plynoměru průmyslového areálu

Na příkladu reálné zakázky na připojení hlavního plynoměru, která byla v roce 2015 realizována pomocí GSM komunikace, si ukážeme, jaké by byly možnosti dnes – při využití některé z IoT technologií. Plynoměr je umístěn na louce přibližně 200 m od hranice areálu. Je u něj dostupný přívod elektrické energie, ale není tam vybudována žádná komunikační infrastruktura pro komunikaci dat s dispečinkem areálu. Možné uvažované způsoby připojení jsou vybudování fyzické komunikační linky (sériová, LAN, …), WiFi připojení, GSM, nebo IoT.

Vybudování fyzické komunikační linky při vzdálenosti cca 200 m od hranice areálu a přibližně 250 m od nejbližší budovy areálu, kde je dnes dostupná podniková ethernetová síť, představuje náklad minimálně v desítkách tisíc korun a nebudeme jej tedy dále uvažovat.

WiFi připojení je citelně snazší na realizaci, ale stále představuje náklad na hardware a instalaci přibližně ve výši 15 000 Kč (pokud nepočítáme vlastní hardware pro měření, který je shodný pro WiFi i GSM variantu). Náklady na provoz v tomto případě zanedbáme.

Jelikož v roce 2015 nebyly ještě běžně dostupné IoT technologie, volba padla na GSM připojení. Na místě byl nainstalován GSM router (3000 Kč) a provozní náklady na připojení se pohybují kolem 1500 Kč/rok. Tato varianta je v horizontu 5 let stále levnější než WiFi, ale především je instalačně jednodušší.

U WiFi i GSM varianty je navíc potřeba připočíst „tradiční“ hardware systému měření a regulace, tedy programovatelný automat (PLC). Zde byl použit regulátor s integrovaným digitálním vstupem s čítačem pulsů přibližně v ceně 5000 Kč. I pro takto jednoduchou úlohu je ovšem potřeba připočíst ještě přípravu softwarové aplikace pro sběr dat, rozváděč, kabeláž atd. v celkové výši přibližně 10 000 Kč.

U dnes dostupné varianty IoT bychom instalovali čítač pulsů (2000 Kč) a provozní náklady by byly do 500 Kč/rok. Související instalační materiál je do 3000 Kč.

Jedná se tedy o ukázkový případ vhodného nasazení IoT technologie, kdy náklady na fyzické zajištění komunikace dat jsou výrazně vyšší než náklady provozní a tudíž dává smysl nasadit provozně dražší IoT řešení.

Tab. 4 *Srovnání nákladů na obě technologie*

	IoT	**GSM**
Pořizovací náklady	5000 Kč	18000 Kč
Provozní náklady na 5 let	2500 Kč	5000 Kč
Celkové náklady na vlastnictví	**7500 Kč**	**21000 Kč**

Důležité je říci, že v areálu z příkladu se ve výsledku data sbírají všemi popsanými způsoby. Kombinace komunikací po existujících sériových linkách, nově instalovaných řídicích systémů přes Ethernet (nebo GSM) a sběru „silně distribuovaných“ nebo dočasně měřených dat přes IoT je ekonomicky smysluplná a použitý vizualizační systém umožňuje data neomezeně kombinovat.

ZÁVĚREM

Internet věcí je často prezentován jako svět s fantastickými možnostmi, zejména díky mobilitě senzorů, a to i mezi státy. To je zrovna vlastnost, kterou u monitoringu budov příliš nevyužijeme. Mobilita by byla výhodou u dočasných instalací, kdy sledujeme objekty problémové, v záruce, zaregulovávané atd., tam ovšem nedochází k nasazení velkého množství senzorů.

Na trhu je nyní dostatek komponent (hardwarových konstrukčních modulů) a potřebná radiová infrastruktura, vznikají první projekty s desítkami či stovkami senzorů vyvíjených na zakázku. Co ale chybí, je široká nabídka koncových zařízení (senzory). Rovněž integrace do současných vizualizačních systémů (SCADA aplikací) je teprve na začátku.

První kroky v tomto směru sice podniká např. Deutsche Telekom s projektem Cloud der Dinge, ovšem zdá se, že trh IoT nyní čeká na „killer application“ – nápad, který by vedl k masivnímu nasazení desetitisíců nebo statisíců senzorů a tím celou technologii ještě více zlevnil a posunul blíž k uživatelům.

DALŠÍ ZDROJE INFORMACÍ

http://www.sigfox.com/
https://www.cra.cz/sluzby-iot
https://www.simplecell.eu/
https://www.lora-alliance.org/
http://www.vodafone.com/business/iot/nb-IoT

ZÁKLADNÍ ŘEŠENÉ PROBLÉMY V OBORU INTEGROVANÉ SYSTÉMY V BUDOVÁCH

Martin Zálešák, Stanislav Sehnálek, Hana Charvátová, Pavel Drábek, Martin Koláček, Jiří Vincenec, Jan Skovajsa

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
Fakulta aplikované informatiky
zalesak@fai.utb.cz

ANOTACE

Příspěvek se zabývá posledním vývojem a trendy v energetice budov a jejich systémů s ohledem na snahu o výrobu energie v místě spotřeby a tendenci vedoucí k maximální autonomii subjektů s ohledem na energetiku a životní prostředí. Na základě rozboru požadavků a možností autor uvádí technické limity a potřebné směry výzkumu a vývoje v oboru. V příspěvku jsou dále uvedeny řešené problémy výzkumu posledních let na pracovišti.

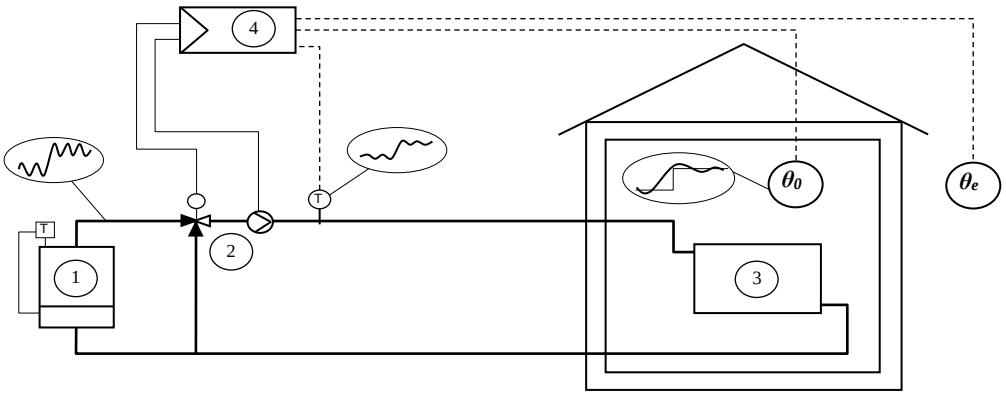
ÚVOD

Výzkum je zaměřen na vybrané aspekty optimalizace systému tvořeným budovou a jejími systémy techniky prostředí včetně energetiky (vytápění, větrání a osvětlení), zahrnující také řízení těchto systémů. Cílem je minimalizace spotřeby celkové energie při dodržení požadovaných parametrů vnitřního prostředí. Výzkum v oboru má dlouhodobý charakter s postupnými cíli a aktualizací podle vývoje techniky a potřeb v oboru.

ZÁKLADNÍ ZAMĚŘENÍ VÝZKUMU

Oblast výzkumu systémů techniky prostředí zahrnuje systémy techniky prostředí v relaci s tepelně akumulačními a izolačními vlastnostmi budovy, přímé využití obnovitelných zdrojů energie v místě spotřeby, vývoj parametrů systémů a prvků techniky prostředí a výzkum vlivu automatizace budov na užitné vlastnosti budovy.

Celý popisovaný systém je uveden na obr. 1 [1].



Obr. 1 *Model budovy a systému techniky prostředí [5]*
1 – Energetický zdroj, 2 – Energetický distribuční systém, 3 – Zařízení přenosu energie, 4 – Řídicí systém, θ_0 – Operační teplota, θe – Klouzavá teplota venkovního vzduchu

Budova s určitými tepelně technickými vlastnostmi je zásobena distribučním systémem přívodem energie z energetického zdroje, podle tepelné ztráty a tepelné zátěže. Schéma je

platné pro stav vytápění i chlazení. Energetická zátěž budovy (tepelné ztráty a tepelná zátěž) závisí na venkovních klimatických podmínkách, požadovaných vnitřních mikroklimatických podmínkách a tepelně technických parametrech budovy (jak tepelně izolačních vlastnostech, tak tepelně akumulačních parametrech).

Návrh tepelných soustav se řídí energetickou zátěží a tepelně akumulačními parametry budovy samotnými a může být zvolena různá kombinace individuálních zdrojů, vodních soustav nebo vzduchotechnických systémů s využitím klasických i obnovitelných zdrojů energie.

Energetické systémy jsou pak řízeny tak, aby byly dodrženy požadované vnitřní podmínky. Jak je zřejmé z obr. 1, tak dodržení požadovaných podmínek může být dosaženo mnoha způsoby, nicméně jenom několik z nich je pro danou situaci optimálních. Řešení systému budova-technické zařízení má tedy komplexní charakter a výzkum může být rozdělen na dílčí problémy a jejich souvislosti jako jsou

- parametry vnitřního prostředí a jejich úroveň z hlediska dopadů zvolených řídicích systémů založené na normách ČSN EN 15 232 [1], ČSN EN 15251 [3];
- tepelně technické parametry budovy ve vztahu ke spotřebě energie založené na normách ČSN EN 13 790 [9], ČSN EN 15251 [3] a ČSN 06 0220 [5];
- tepelně akumulační materiály a jejich aplikace v budovách v souvislosti s tepelně akumulačními vlastnostmi budovy ve vztahu s potřebou strojního chlazení a spotřebou energie na vytápění a chlazení;
- možné užití obnovitelných zdrojů energie v relaci s technickými systémy v budovách a možnosti ukládání energie
- optimalizace sdruženého osvětlení.

V dalším uvádíme popis řešení některých z výše uvedených řešených problémů.

VLIV REGULACE NA SPOTŘEBU ENERGIE

Podle normy ČSN EN 15 251 [3] kriteria tepelného komfortu mohou být reprezentovány při dodržení ostatních kriterií indexu ***PMV*** (jako je relativní vlhkost vzduchu, vhodné oblečení podle tepelné zátěže organismu a rozložením teploty vzduchu v prostoru) jediným parametrem a to operativní teplotou, $\boldsymbol{\theta_i}$. Prostředí je pak kategorizováno do čtyř kategorií I. až IV. , podle Tab. 1.

Požadavky na vnitřní podmínky – ***PMV*** (operativní teplotu) jsou uvedeny v Tab. 2. Indexu ***PMV*** při odpovídající úrovni oblečení (v létě ***clo*** = 0,5 a v zimě ***clo*** = 1) pak odpovídají mikroklimatické podmínky podle tzv. klouzavé teploty venkovního vzduchu, $\boldsymbol{\theta_{rm}}$.

Požadované meze operativní teploty, $\boldsymbol{\theta_i}$ v závislosti na klouzavé teplotě střední venkovního vzduchu, $\boldsymbol{\theta_{rm}}$ v letním období pro budovu bez strojního chlazení je uvedena podle [2] na obrázku 2. Navrhované parametry rozsahu operativní teploty v závislosti na kategorii místnosti a klouzavé střední teplotě venkovního vzduchu jsou uvedeny podle této normy v Tab. 3.

Tab. 1 *Kategorie prostředí podle EN 15 251 [1]*

Kategorie	**Popis**
I	Vysoká úroveň očekávání, doporučená pro prostory obsazené velmi citlivými osobami s křehkým zdravím, se zvláštními požadavky, jako jsou např. postižení, nemocní, velmi malé děti a starší osoby
II	Běžná úroveň očekávání by měla být použita pro nové budovy a rekonstrukce
III	Přijatelná, střední úroveň očekávání použitelná pro stávající budovy
IV	Hodnoty mimo kritéria pro výše uvedené kategorie. Tato kategorie může být přípustná pouze pro omezenou část roku

Tab. 2 *Příklady doporučených kategorií pro návrh strojně vytápěných a chlazených budov podle ČSN EN 15251 [3]*

Kategorie	**Tepelný stav těla jako celku**	
	PPD **%**	**Předpokládaný střední tepelný pocit**
I	< 6	-0,2 < *PMV* < + 0,2
II	**< 10**	**-0,5 < *PMV* < + 0,5**
III	< 15	-0,7 < *PMV* < + 0,7
IV	> 15	*PMV* < -0,7 nebo +0,7 < *PMV*

Podobně jsou v normě stanoveny požadavky na intenzitu větrání, intenzitu výměny vzduchu a ostatní parametry vnitřního prostředí. Je zřejmé, že moderní sofistikované systémy řízení ve vytápění a chlazení vyžadují řízení buď podle operativní teploty, nebo podle teploty vnitřního vzduchu se zohledněním historického průběhu teploty venkovního vzduchu podle akumulačních vlastností té které místnosti. Pro klouzavou střední teplotu venkovního vzduchu pak platí vztah

$$\boldsymbol{\theta}_{rm} = (1 - \boldsymbol{\alpha}).(\theta_{ed-1} + \boldsymbol{\alpha}.\boldsymbol{\theta}_{ed-2} + \alpha^2.\boldsymbol{\theta}_{ed-3}..) \quad (1)$$

kde

$\boldsymbol{\theta}_{rm}$ je klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro vyhodnocovaný den, ve ^{o}C;

$\boldsymbol{\theta}_{ed-1}$ střední denní teplota venkovního vzduchu pro předchozí den, ve ^{o}C;

$\boldsymbol{\theta}_{ed-2}$ střední denní střední teplota venkovního vzduchu dva dny před vyhodnocovaným dnem, atd., ve ^{o}C;

$\boldsymbol{\alpha}$ konstanta mezi 0 a 1.

Vzhledem ke skutečnosti, že klouzavá teplota, $\boldsymbol{\theta}_{rm}$, má být rozhodující vstupní veličinou pro regulační obvod řízení vstupních parametrů medií systémů techniky prostředí, je pro její stanovení nutné znát hodnotu veličiny, $\boldsymbol{\alpha}$. Tato veličina však není konstanta a závisí na teopelně akumulačních parametrech budovy. Doporučená hodnota je 0,8.

Vlivem řízení vytápěcích a chladicích systémů na spotřebu energie se zabývá ČSN EN 15232 [1] z hlediska spotřeby energie na vytápění a chlazení. Tato norma uvádí vliv odchylky regulované vnitřní teploty od žádané hodnoty na spotřebu energie podle vztahu

$$\theta_{i,cor} = \theta_i + \delta\theta_i \quad (2)$$

kde $\theta_{i,cor}$ je ekvivalentní vnitřní teplota zahrnující nepřesnosti regulace, ve ^oC;
θ_i žádaná hodnota vnitřní teploty, ve ^oC;
$\delta\theta_i$ regulační odchylka, v K.

Tab. 3 *Navrhované parametry teplotního rozsahu operativní teploty v zimě a létě pro vytápěné a strojně chlazené budovy, podle EN 15 251 [2]*

Typ budovy nebo prostoru	**Kategorie**	**Teplotní rozsah pro vytápění, θ_i [^oC]** **Oděv ~ 1,0 clo**	**Teplotní rozsah pro chlazení, θ_i [^oC]** **Oděv ~ 0,5 clo**
Obytné budovy, obytné místnosti (ložnice, obývací pokoje, atd.) Sedící - činnost ~ 1,2 met	I	21,0 -25,0	23,5 - 25,5
	II	**20,0-25,0**	**23,0 - 26,0**
	III	18,0- 25,0	22,0 - 27,0
Obytné budovy, ostatní místnosti (kuchyně, sklady atd.) Stojící - přecházející činnost ~1,5 met	I	18,0-25,0	
	II	**16,0-25,0**	
	III	14,0-25,0	
Kanceláře a prostory s podobnou činností (jednotlivé kanceláře, velkoplošné kanceláře, konferenční místnosti, posluchárny, jídelny, restaurace, učebny) Sedící - činnost ~1,2 met	I	21,0 – 23,0	23,5 - 25,5
	II	**20,0 – 24,0**	**23,0 - 26,0**
	III	19,0 – 25,0	22,0 - 27,0

Za regulační odchylku, $\delta\theta_i$, je možno požadovat i odchylku od hraničních hodnot požadované vnitřní (operativní) teploty v zimním a letním období. Teoreticky lze na základě hodnoty regulační odchylky stanovit i změnu ve spotřebě energie předmětného prostoru podle ČSN EN ISO 13 790 [9], za předpokladu, že časový krok simulace, t , je kratší, než je perioda změny operativní teploty. Změna spotřeby energie může být pak stanovena podle vztahu

$$\Delta E = P.t.F_c \,, \quad (3)$$

kde
ΔE je okamžitá změna ve spotřebě energie, v kWh;
P vytápěcí, nebo chladicí výkon, v kW;
t časová perioda změny, v h;
F_c charakteristický parametr budovy zahrnující tepelnou akumulaci budovy včetně technického systému vytápění a chlazení a účinnost regulace.

Z výše uvedeného je zřejmé, že rozsah operativní teploty pro dosažení stejné kategorie komfortu prostředí je poměrně široký. Při vhodně navrženém systému vytápění a chlazení s vhodnou regulací je možno i při dodržení požadavků na požadovaný teplotní komfort dosáhnout významných úspor energie. Ze vztahu (3) je zřejmé, že parametr, F_c, je velmi

důležitý a souvisí také s parametrem, α , ve vztahu (1) až (3). V současné době se pracoviště zabývá zjištění těchto parametrů pomocí simulačních metod s experimentálním ověřením.

VÝZKUM MOŽNOSTI ZMĚNY TEPELNĚ AKUMULAČNÍCH PARAMETRŮ BUDOVY

Tepelně akumulační parametry budov jsou přímo nebo nepřímo spojené se spotřebou energie na vytápění a chlazení. Možnost ovlivnění tepelně akumulačních vlastností určitého sytému může zvýšit potenciál možnosti využití obnovitelných zdrojů energie (tepelná čerpadla fotovoltaika, solární panely, apod.), a tak významně změnit spotřebu provozní energie. Pro výzkum možnosti ukládání energie (tepla a chladu) je využívána experimentální laboratorní základna techniky prostředí. Tato laboratoř je určena jednak pro výuku a jednak pro aplikaci, testování a verifikaci simulačních metod užitých pro komplikované tepelné systémy. Základní problém v pasivním využití tepelně akumulačních panelů ve stavebních konstrukcích je uvolnit akumulovanou energie v panelu do prostředí v požadovaném čase. V současné době probíhá výzkum řízeného přenosu energie z panelu do prostředí. Za předpokladu znalosti časové konstanty místnosti je pak možné simulovat pomocí vhodného simulačního programu prostorové rozložení teploty vzduchu v uvažovaném prostoru a optimalizovat návrh energetických systémů. Předběžné výsledky výzkumu ukazují tuto cestu jako reálnou.

DYNAMICKÁ ODEZVA OPERATIVNÍ TEPLOTY V MÍSTNOSTI NA KOLÍSÁNÍ TEPLOTY VENKOVNÍHO VZDUCHU

V důsledku tepelně akumulačních vlastností budovy je odezva vnitřního prostředí (operativní teploty) na změnu podmínek venkovního prostředí (teplota vzduchu a sluneční záření) s určitým dopravním zpožděním. Těmito otázkami se zabývají normy ČSN EN 13790 [9] a souvisící normy ČSN EN 13792 [6], ČSN EN 13786 [7) a dále normy ČSN EN 15251 [3] a ČSN 06 0220 [5] a do jisté míry i ČSN 73 0540 [8]. Komplexní řešení tohoto problému podle ČSN EN 13790 [9] a souvisejících norem je obtížné. Pro řešení se často používají simulační metody, které pro řešení definičních diferenciálních rovnic používají běžné numerické metody. Rozdíl jednotlivých metod je v zadávání okrajových podmínek. Shodnost výsledků podle těchto metod se posuzuje pomocí tzv. Best testu, tedy výpočtem určitých příkladů a posuzuje se vzájemná shoda. Tato shoda však ještě neznamená správnost. Je snaha o určité zjednodušení řešení tohoto problému (např. vyjádření akumulačních vlastností budovy již výše zmíněnou klouzavou teplotou podle ČSN EN 15251 [3], nebo tzv. akumulační konstantou místnosti podle ČSN 06 0220 [5]). Pomocí simulační metody a vlastního měření jsme ověřili možnost určení hodnot a vzájemných vztahů mezi jednotlivými, již zmíněnými parametry, α, F_c a dále časovou konstantou místnosti, C, podle ČSN 06 0220 [5].

ZÁVĚR

Rozsah příspěvku je omezen vydavatelskými možnosti. I tak jsme se snažili uvést některé postupy našeho výzkumu v rámci výzkumného záměru. Jsme přesvědčeni, že i z důvodu nepochybných klimatických změn, je nutno se zabývat problémy tepelné akumulace budov a to jak z pohledu ukládání energie při jejím přebytku, tak i při návrhu výkonových parametrů vytápěcích chladicích a vzduchotechnických systémů.

LITERATURA

[1] ČSN EN 15232 Energetická náročnost budov – Vliv automatizace, řízení a správy budov
[2] ZALESAK, M. Experimental backup in the field of integrated systems in buildings. Habilitation work. Zlin, 2008

[3] ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky.
[4] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov
[5] ČSN 06 0220 Tepelné soustavy v budovách - Dynamické stavy
[6] ČSN EN ISO 13792 Tepelné chování budov – Výpočet vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení – Zjednodušené metody
[7] ČSN EN ISO 13786 Tepelné chování stavebních dílců – Dynamické tepelné charakteristiky – Výpočtové metody
[8] ČSN EN 15255 Tepelné chování budov – Výpočet chladicího výkonu pro odvod citelného tepla z místnosti – Obecná kriteria a validační postupy vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení – Zjednodušené metody
[9] ČSN EN 13790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a Chlazení
[10] GERLICH, Vladimír. Ověření možnosti využití programu COMSOLMultiphysics jako prostředí pro simulace tepelného chování systémů s akumulací. Zlín, 2012. Disertační práce. UTB ve Zlíně.
[11] CHROBÁK, Pavel, Stanislav SEHNÁLEK a Martin ZÁLEŠÁK. Verification options of the effectiveness for photovoltaic panels. In: *Electrorevue* [online]. Brno: International Society for Science and Engineering, o.s., 2014, s. 7 [cit. 2016-04-10]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: http://elektrorevue.cz/cz/clanky/energetika--vykonova-elektronika--elektrotechnologie/0/moznosti-overeni-ucinnosti-fotovoltaickych-panelu--verification-options-of-the-effectiveness-for-photovoltaic-panels-/
[12] KOLÁČEK, Martin a Martin ZÁLEŠÁK. The parameters of the Thermal panel based on a Phase Change Materials. In: *International Journal of Materials.* International Journal of Materials. Volume 3, 2016. Pp: 7-12. ISSN 2313-0555

SEZNAM SYMBOLŮ A OZNAČENÍ

θ_{rm}	klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro vyhodnocovaný den	[ºC]
θ_{ed-1}	střední denní teplota venkovního vzduchu pro předchozí den	[ºC]
θ_{ed-2}	střední denní střední teplota venkovního vzduchu dva dny před vyhodnocovaným dnem	[ºC]
α	konstanta mezi 0 a 1	
ΔE j	okamžitá změna ve spotřebě energie	[kWh]
P	vytápěcí, nebo chladicí výkon	[kW]
t	časová perioda změny	[h]
F_c	charakteristický parametr budovy zahrnující tepelnou akumulaci budovy včetně technického systému vytápění a chlazení a účinnost regulace	
$\theta_{i,cor}$	ekvivalentní vnitřní teplota zahrnující nepřesnosti regulace	[ºC]
θ_i	žádaná hodnota vnitřní teploty	[ºC]
$\delta\theta_i$	regulační odchylka	[K]

Prohlášení

Tato práce byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu Národní program udržitelnosti č. LO1303 (MSMT - 7778/2014).

VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ ŠKOL
- MOŽNOSTI VĚTRÁNÍ VE ŠKOLSKÝCH OBJEKTECH

Ing. Zdeněk Zikán

ATREA s.r.o.
zdenek.zikan@atrea.cz

V dnešní době se stále více setkáváme se stavem, kdy se začíná zhoršovat neúměrně vnitřní prostředí ve školách z hlediska mikroklimatických podmínek a zejména škodlivin v ovzduší.
K tomuto stavu se prostředí ve školách dostává postupně tak, jak jednotlivé obce rekonstruují objekty škol a v rámci těchto rekonstrukcí zajišťují především výměny oken a zateplovací systémy na fasády a střešní nebo půdní konstrukce.
Z pohledu energetických úspor se jedná o chvályhodné počiny obcí, protože obce jsou si vědomy, že energetické úspory jejich provozovaných objektů znamenají úspory v jejich rozpočtech. Na co se však zapomíná je dodržování požadavků dalších vyhlášek a zákonů, které mají vztah k lidskému zdraví.
Ve vyhlášce 268/2009 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích na stavby v jejím znění 20/2012 Sb. je uvedeno: „**Pobytové místnosti (místnost nebo prostor, které svou polohou, velikostí a stavebním uspořádáním splňují požadavky k tomu, aby se v nich zdržovaly osoby) musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu 25 m^3/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5 1/h. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO_2, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1 500 ppm.**
Na školy a předškolská zařízení se pak samostatně vztahuje vyhláška č. 410/2005 Sb. - Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. V této vyhlášce se v jednotlivých § odkazuje z hlediska požadavků na splnění vnitřních mikroklimatických podmínek na přílohu č. 3. V té je stanoveno, že každý žák má nárok na 20 až 30 m^3/hod čerstvého vzduchu. Zároveň by měly být splněny i teplotní podmínky v místnostech a sice: minimální výsledná teplota v místnosti by neměla klesnout pod t_{gmin} = 20 °C, výsledná teplota v místnosti $t_{g,opt}$ = 22 ± 2 °C, a maximální výsledná teplota v místnosti by neměla přesáhnout t_{gmax} = 28 °C. Také rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být větší než 3 °C.
Pro učitele, jako zaměstnance, platí nařízení vlády č. 361/2007 Sb. - Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, kde pro práci zařazenou do I nebo IIa třídy musí být na pracoviště přiváděno minimální množství venkovního vzduchu v hodnotě 25 m^3/h na zaměstnance.

Vyhláška č. 410/2005 Sb. stanovuje ve svém paragrafu 18 odstavci **(1) Prostory zařízení pro výchovu a vzdělávání a provozoven pro výchovu a vzdělávání určených k pobytu musí být přímo větratelné. Požadavky na větrání čerstvým vzduchem (výměna vzduchu) v době využití interiéru jsou upraveny v příloze č. 3 k této vyhlášce.**
Odstavec neříká, jakým způsobem se tohoto cíle má dosáhnout, zda větráním okny či mechanickým nuceným větrání pomocí větracích zařízení.
Dále se píše v odstavci **(4) Pokud venkovní stav prostředí neumožňuje využít přirozené větrání pro překročení přípustných hodnot škodlivin ve venkovním prostředí, musí být mikroklimatické podmínky a větrání čerstvým vzduchem zajištěny vzduchotechnickým zařízením.**

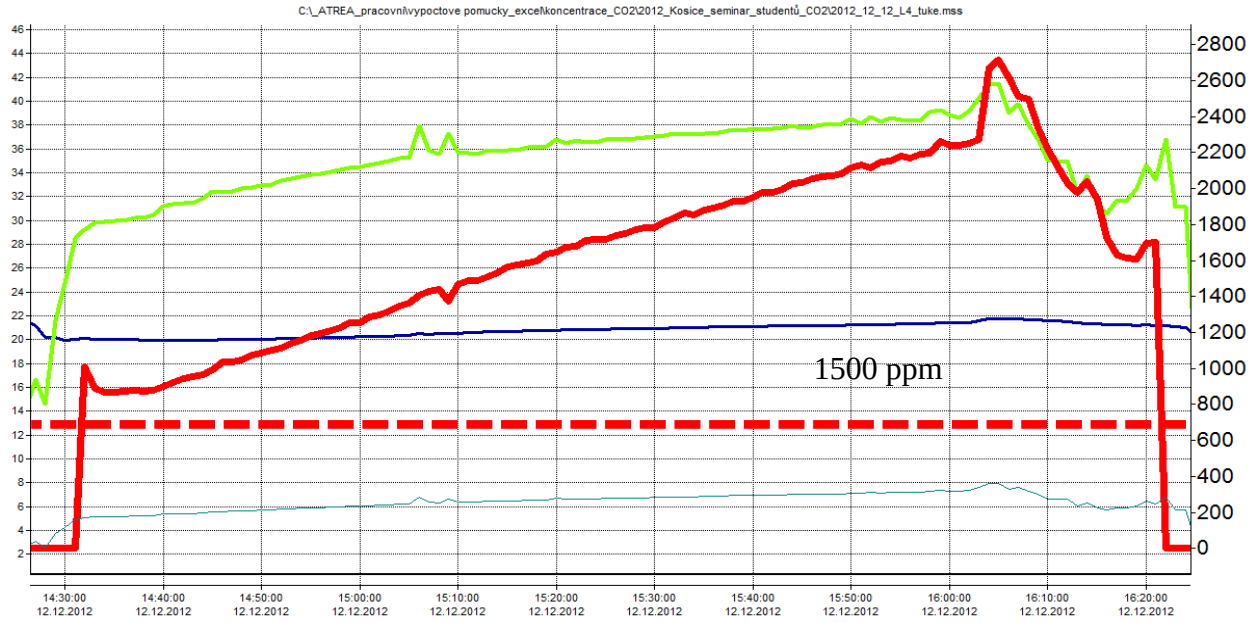
A v odstavci **(6) Přirozené větrání musí být v případě těsných oken zajištěno systémy mikroventilace nebo větracími štěrbinami.**
Toto je tedy zákonný rámec, který hovoří o tom, jaká kvalita a jaké množství venkovního vzduchu by mělo být použito pro větrání případně i jak zajišťovat požadavky na větrání.
Jaká je však realita a v čem z hlediska mikroklimatu naše děti a studenti tráví velkou část svého života. Lze obvyklými způsoby dodržet znění vyhlášek?
Z hlediska působení CO_2 na organismus je nejvýše dovolená koncentrace na úrovni, kdy se na organismu začíná projevovat únava a snižuje se koncentrace na prováděnou duševní činnost – viz také tabulka níže.

Úrovně koncentrací CO_2 a vliv na člověka		**Koncentrace CO_2 (ppm)**		**třída kvality prostředí (ČSN EN 15251)**
	nedoporučuje se delší pobyt	**> 5000**		
	otupělost, zívání	**2500**		
	snížení koncentrace, únava	**1600 - 2000**		**+> 800 - 4. tř. (> 1170)**
	akceptovatelná úroveň	**1200 - 1600**		**+ 800 - 3. tř. (1170) 1500 – nejvýše dovolená hodnota**
	přijatelná úroveň - vnitřní prostředí	**800 - 1200**		**+ 500 - 2. tř. (870) + 350 - 1. tř. (720)**
	venkovní prostředí	**350 - 370**		

Ve školách je možno naměřit nezřídka koncentrace CO_2 na úrovních 2500 – 4000 ppm, což dvojnásobně či až trojnásobně překračuje povolenou koncentraci. Hladina CO_2 však není jen samotnou koncentrací tohoto netečného plynu, který také lidé produkují svým dýcháním, ale je i odpovídajícím kritériem kvality vzduchu, v němž se objevují i jiné složky škodlivin. Ty vznikají přímo v budovách (např. těkavé látky z nábytku, čisticích prostředků a jiných škodlivin jako např. formaldehyd, styren apod.) nebo se do budov dostávají zvnějšku (pronikající radon). Čím tedy více CO_2 může být ve vzduchu, tím je tam s velkou pravděpodobností i více dalších škodlivin.
V uzavřeném prostoru bez výměny vzduchu se pak také zvyšuje množství drobného prachu z oblečení, šupinek kůže nebo vlasů. Jsou namáhány sliznice, plíce jsou drážděny prachem a zvyšují se koncentrací plynných částic. Účinky jednotlivých škodlivin je často okamžitě neznatelný, ale následky s odstupem času mohou být vážné. Některé z alergií proto mohou mít původ i zde. Jediným okamžitým nejviditelnějším ukazatelem je nesoustředěnost a únava. Vzhledem k tomu, že tyto ukazatele mohou mít svoji příčinu i jinde (zdravotní stav žáka,

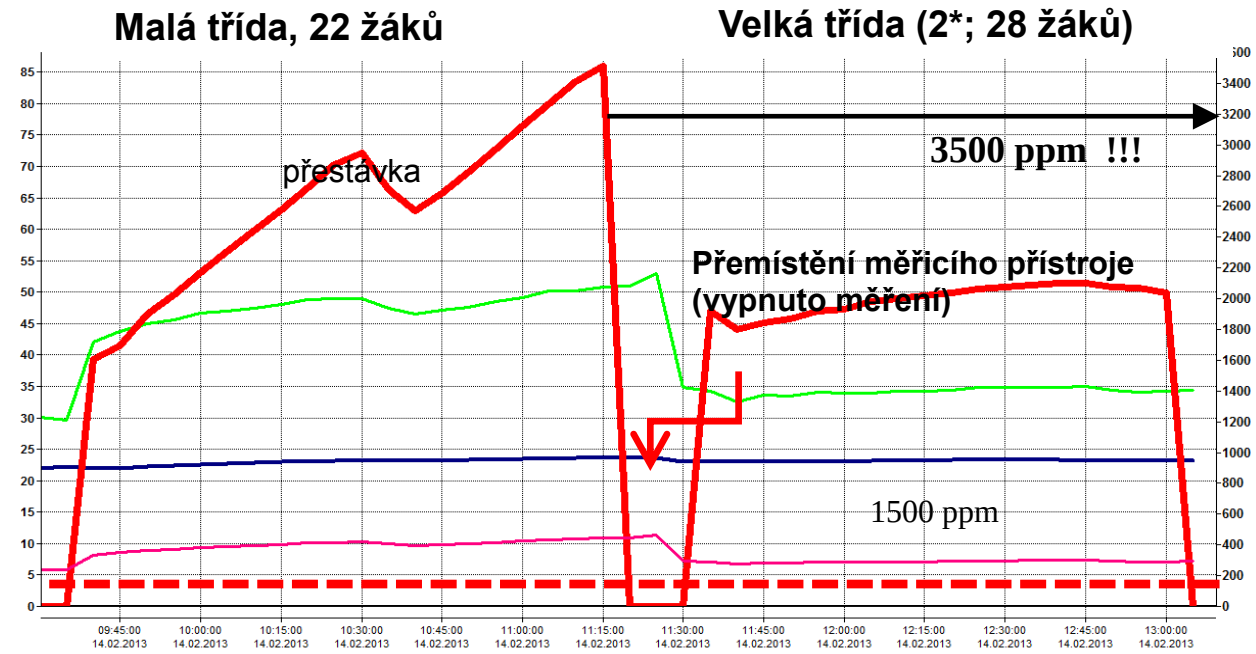
možná nezajímavost probírané látky v hodině pro některé žáky a jiné) není obecně výměně vzduchu věnována žádná velká pozornost, i když v současné době začínáme pozorovat v tomto směru určitou změnu. Ve školách se navíc setkáváme se situací, kdy je nařízením zakázáno o přestávkách otevírat okna (aby někdo nevypadl oknem z budovy) a větrání se přesouvá tedy do vyučovacích hodin. Ve vyučovacích hodinách pak z důvodů studeného vzduchu, který táhne od oken na sedící žáky (vliv studeného vzduchu na sedícího je negativně větší než na stojící nebo pohybující se osobu) se okna předčasně zavírají. Druhým častým důvodem proč se v hodinách okna taky zavírají, je hluk pronikající zvnějšku do třídy a mající také vliv na soustředění žáků. Okna se tedy zavírají. Tímto se mají žáci lépe soustředit, bohužel jejich soustředěnost klesá se stoupajícími koncentracemi škodlivin a CO_2 ve vnitřním vzduchu.

Grafy několika tříd s naměřenými koncentracemi jsou na obrázcích č. 1 až 3

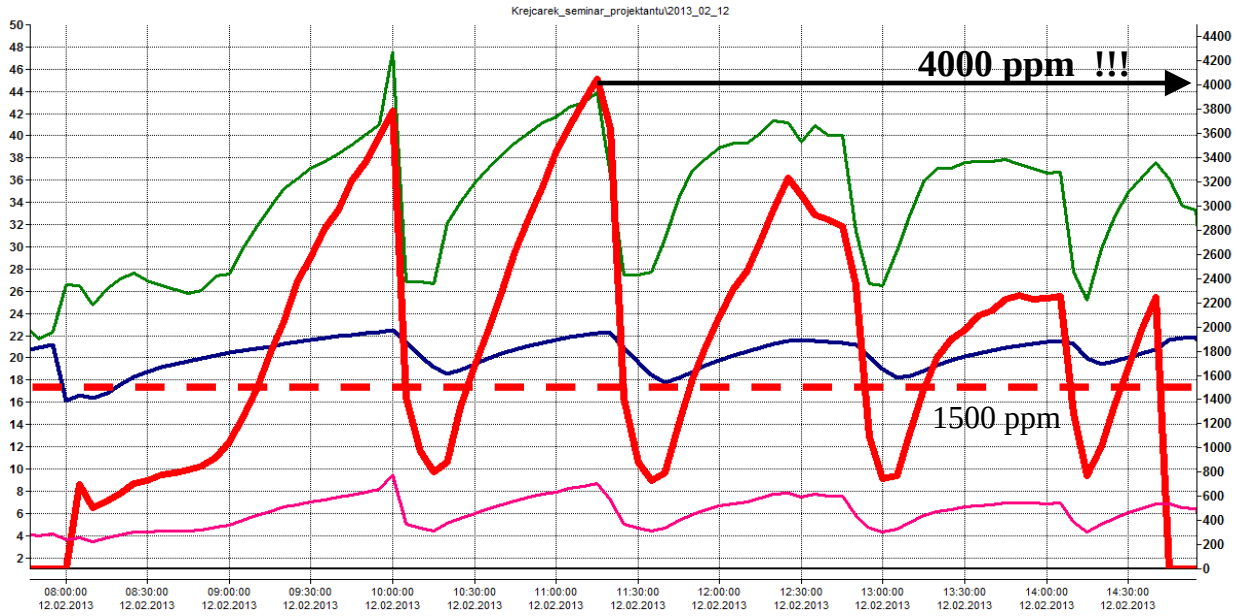


Obr. 1 *TU Košice – posluchárna zaplněná cca 70 posluchači (bez řízeného větrání)*

Koncem loňského roku byla znovu otevřena škola v Kostelní Lhotě, která je nyní vybavena novým topným systémem. V Dubňanech u Hodonína chátral areál na přípravu učňů pro lignitové doly, nový majitel ho proto proměnil na pasivní bytový dům.



Obr. 2 *SPŠ a VOŠ Volyně – semináře v délkách 2*45 min*



Obr. 3 *Školení projektantů Praha (dospělí žáci)*

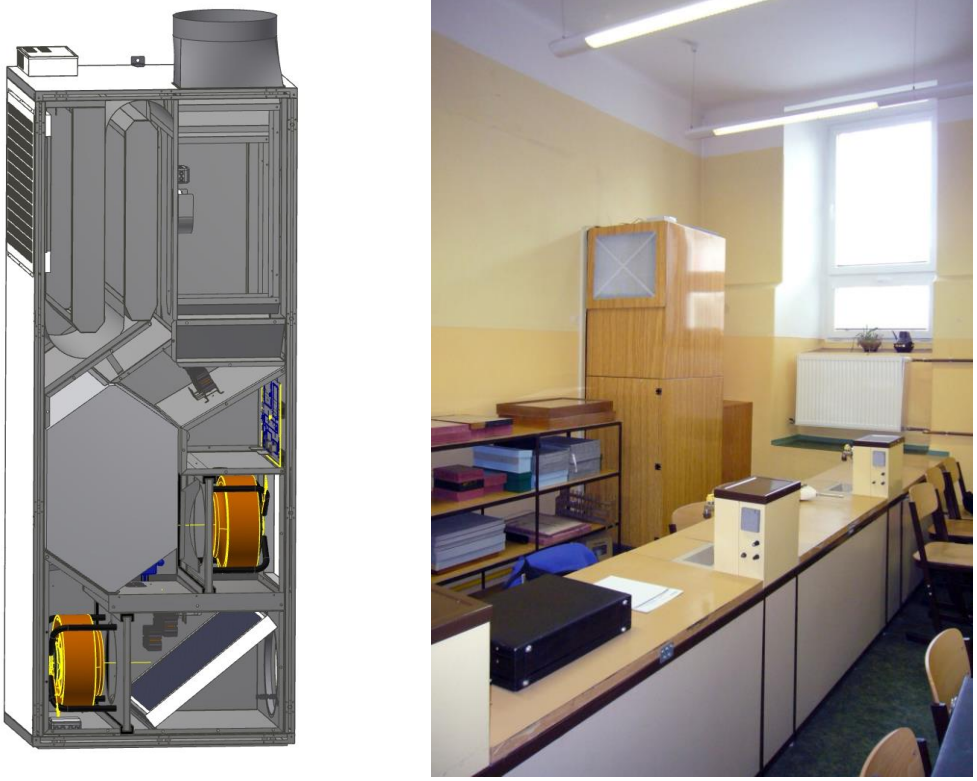
Nárůst koncentrací CO_2 a dalších škodlivin je způsoben zejména se snahou omezovat větrání a to ať vědomě (snahy o zavírání oken o přestávkách, zavírání kvůli chladu, zavírání oken kvůli venkovní smogové situaci) nebo i nevědomě (pořízení nových oken s lepším kováním a těsněním způsobuje uzavření celého prostoru bez výměny vzduchu). Na jednu stranu uvedené snahy v podobě zavírání oken a jejich lepší těsnost přináší zisky v podobě úspor energií, lepší akustiku díky nepřenášení hluku zvenčí dovnitř, na druhou stranu to přináší problémy se škodlivinami v budovách, které se jistě časem přesunou do zdraví těch, kteří musí v takovém prostředí pobývat. Nesoustředěnost a horší kvalita výuky je pak asi jen podružným efektem, který se dá svést i na jiné faktory.

Z uvedených grafů reality jednoznačně vyplývá, že kvalitu i množství větraného vzduchu nejsme schopni stávajícím systémem větrání pomocí oken dosáhnout. O energetických úsporách se u tohoto systému hovořit nedá.
Jestliže se tedy přijme fakt, že 100 % nelze dobře větrat prostory pomocí oken z důvodu lidského chování a k tomu je požadavek na šetření energií, které normálně otevřenými okny unikají ve velké míře, pak by se mělo přijmout rozhodnutí, že větrání bude zajišťovat větrací systém. Ten jediný může mít pod kontrolou, a to nezávisle na lidském vědomí, množství větraného vzduchu, může zajistit kvalitu větracího vzduchu filtrací vůči prachu v ovzduší a může i v neposlední řadě vrátit velkou část tepla zpět do větraného prostoru tím, že toto teplo předá čerstvému venkovnímu vzduchu, který se do prostorů přivádí.
Zařazením rekuperačního zařízení do systému vzduchotechniky je možno šetřit tepelnou energii, která by byla odváděna bez užitku. To je přímý ekonomicky vyjádřitelný zisk v podobě ušetřených peněz za tepelnou energii, která má svoji cenu. Z hlediska návratnosti investic se však posuzuje návratnost celé investice do vzduchotechnického zařízení (ne návratnost samotného rekuperátoru) vůči uspořené energii. Zapomíná se, že je dáno vyhláškami, jak se má větrat a že toto není možno okny splnit při dodržení požadovaných mikroklimatických parametrů. Do návratnosti investice se vůbec nezapočítává potenciál zdraví osob, které pobývají v nevhodném prostředí a potenciál v lepším soustředění na výukový proces, který pak z dlouhodobého a celospolečenského hlediska může mít vliv na vzdělanost obyvatelstva. Lékaři jistě potvrdí fakt, že lépe okysličený mozek vykazuje lepší znalostní výsledky.

MOŽNOSTI VĚTRÁNÍ VE ŠKOLSKÝCH OBJEKTECH.

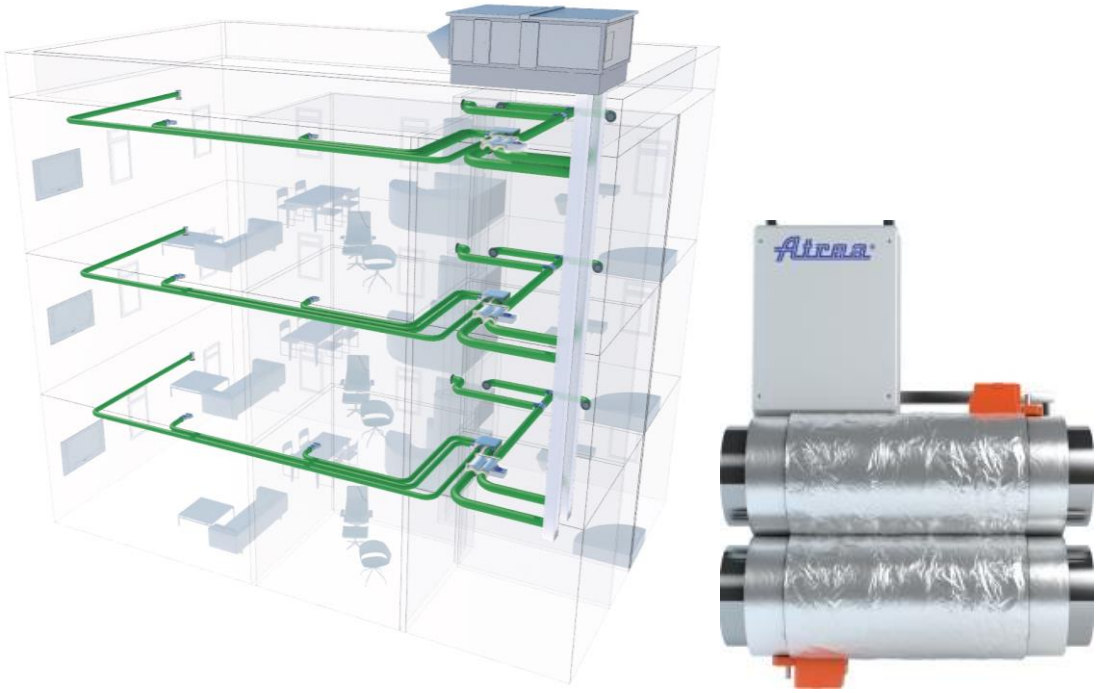
Dá se zjednodušeně říct, že nejvíce se, v dnešní době začínajícího využívání nuceného větrání s rekuperací ve školských objektech, používají dva systémy.

a/ **decentrální systém větrání**, kdy do jedné třídy je osazena vzduchotechnická jednotka, která je napojena na sání a výdech ze třídy ven z objektu. Toto řešení je z hlediska instalace velmi jednoduché, má však úskalí v použití takové jednotky, která splní požadavky na hlukové parametry, které jsou platné pro třídu. Aby instalací jednotky nebyli žáci a učitelé negativně ovlivňováni a následně z tohoto důvodu také jednotku nevypínali. Druhým úskalím může být sání a výdech vzduchu na fasádě, protože co třída, to otvor a sací či výfukové elementy na fasádě. Z hlediska některých typů budov, zejména historických, toto naráží na schválení odpovědných úřadů, zejména památkářů.
Firma ATREA s.r.o. pro účely decentrálního větrání vyvinula a uvedla na trh jednotku DUPLEX Inter, která splňuje požadavky na zajištění větrání třídy, využití tepla z větrání pomocí rekuperace a zároveň plní přísné hlukové parametry. Zároveň jednotka řídí intenzitu větrání změnou otáček ventilátorů na základě interního čidla CO2, takže dochází k efektivnímu využití jednotky a tím také minimalizaci spotřeby elektrické energie na pohon jednotky v závislosti na obsazenosti třídy. Jednotka také může být designově potažena laminem, takže ve výsledku působí ve třídě jako součást nějakého nábytku.



Obr. 4 *Jednotka DUPLEX Inter včetně ukázky instalace v ZŠ*

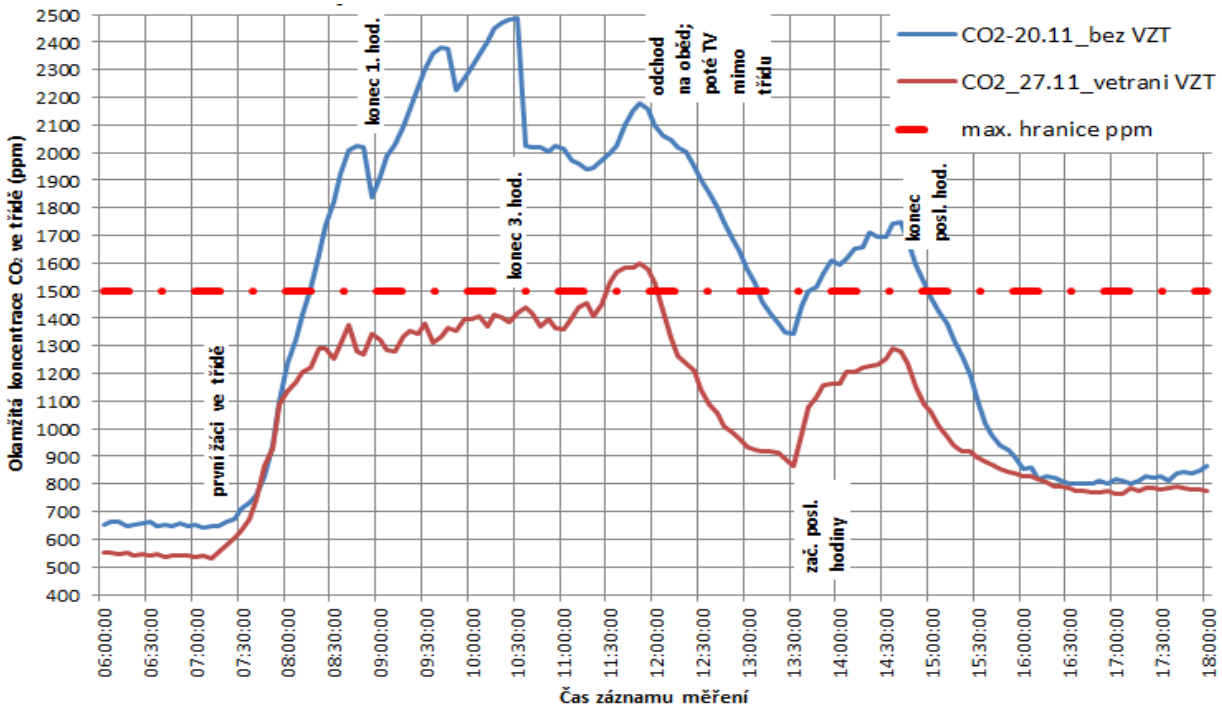
b/ **centrální systém větrání**, kdy je osazena jedna vzduchotechnická jednotka na celou budovu nebo na část budovy a následně jsou zhotoveny na vstupu a výstupu do třídy regulační klapky, které řídí množství větraného vzduchu dle požadavků dané třídy, nejčastěji pomocí čidla CO_2. Jednotlivé regulační klapky mají v sobě měření průtoku vzduchu a zároveň servopohon pro ovládání klapky. Díky komunikaci jednotlivých regulačních klapek s jednotkou dochází k řízení jednotky tak aby spotřeba energie na provoz jednotky byl minimální a zároveň ve všech třídách byly splněny požadavky na množství větraného vzduchu. Tento systém má výhodu v minimalizaci nasávacích a výfukových otvorů v budově, možnosti řešení hluku jsou v rámci technické místnosti nebo na střeše objektu, kde může být centrální jednotka osazena. Výhodou tohoto systému také je údržba o jednu nebo minimální počet vzduchotechnických jednotek z hlediska obsluhy. Nevýhodou pak jsou rozvody po budově.



Obr. 5 *Systém centrálních rozvodů a regulačních Smart boxů s měřením a regulací množství vzduchu individuálně do každé třídy.*

Obecně se nedá říci, který systém je výhodnější, ani který je levnější. Každý má své výhody i nevýhody a je na investorovi a projektantovi aby rozhodli, jak realizovat větrací systémy v dané škole.

Výsledky měření na již hotových školách ukazují výrazně lepší kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí a bude jen otázkou dalšího sledování, jaké další zlepšení vůči nevětraným třídám přinesou (možnosti zdraví žáků, soustředění apod.)



Obr. 6 *Měření koncentrací bez VZT a s VZT*

Již realizované příklady decentrálních i centrálních systémů jsou ukázkou toho, že ve školských objektech je možno instalovat větrací systémy. Ty mohou kromě počitatelných ekonomických výsledků v podobě úspor energie, přinášet další kvalitu do výuky, která se bohužel velmi těžce dokazuje a tou jsou možné lepší výsledky výukového procesu a v neposlední řadě i lepší zdraví.

Jakákoli investice do větracího systému je samozřejmě finanční zátěž, nejen při rekonstrukcích budov. Má delší dobu návratnosti než jakákoli další opatření, která se provádí z hlediska úspor energií (např. výměna oken). Většinou se provádí jen čistě ekonomické hodnocení návratnosti vůči úsporám energie. Často se také nespravedlivě provádí ekonomicko-energetické srovnávání nuceného větrání, kdy se dají dodržet požadované mikroklimatické podmínky, s nedostatečným větráním okny a nedodržováním požadovaných mikroklimatických podmínek při tomto způsobu větrání. Jistě by tedy bylo spravedlivější takové ekonomické srovnání, kdy by se ocenilo kvalitnější vnitřní prostředí a díky tomu také lepší podmínky v patřičných prostorách. Z těchto pohledů je zřejmé, že současné dosud používané pouhé ekonomické hodnocení rekuperace z energetického hlediska je svým způsobem deformované a ne zcela objektivní.

Řízené nucené větrání a ještě lépe řízené nucené větrání s rekuperací tepla by mělo být v současné době součástí každé novostavby nebo zásadní rekonstrukce a to zejména ve školských objektech, kde se evidentně dnes nedodržují požadavky legislativy z hlediska kvality prostředí, ale také z důvodu, že nové systémy vzduchotechniky s rekuperací tepla šetří tepelnou energii, jejíž ceny jistě v budoucnu klesat nebudou.

PŘÍMÉ VOLNÉ CHLAZENÍ DATOVÝCH CENTER

Vladimír Zmrhal

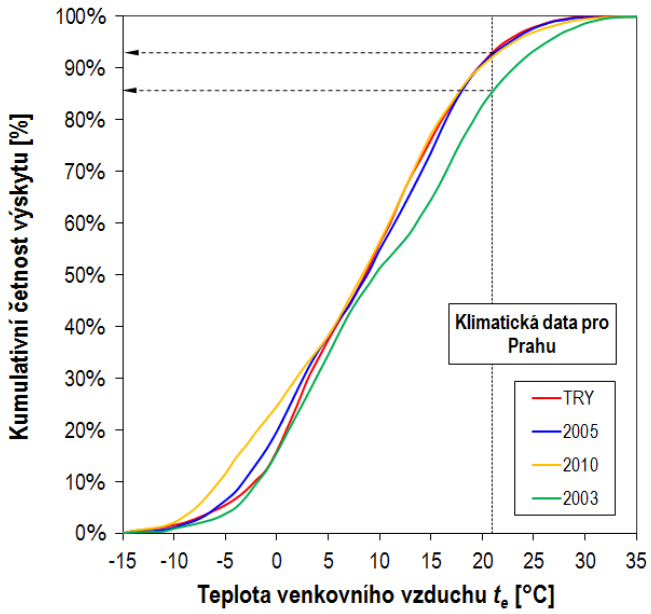
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz

ANOTACE

Datová centra jsou významným spotřebičem energie, což souvisí s provozem IT technologie a rovněž jejím chlazením. Právě část energie určená pro chlazení datových center vykazuje v některých případech potenciál pro úsporná opatření. Příspěvek se zaměřuje na možnosti využití venkovního vzduchu pro volné chlazení datových center a snaží se tyto úspory finančně vyčíslit. Analýzy jsou realizovány na konkrétním příkladu stávajícího datového sálu, vybaveného cirkulačním systémem chlazení.

ÚVOD

Přímé volné chlazení („direct free cooling“) představuje jednu z možných alternativ chlazení datových center. Výhodou je možnost využití venkovního vzduchu pro chlazení bez nutnosti strojního chlazení po většinu roku. Nevýhodou jsou prostorové nároky pro vedení vzduchovodů, vyšší nároky na filtraci vzduchu, vlhčení a pohon ventilátorů.



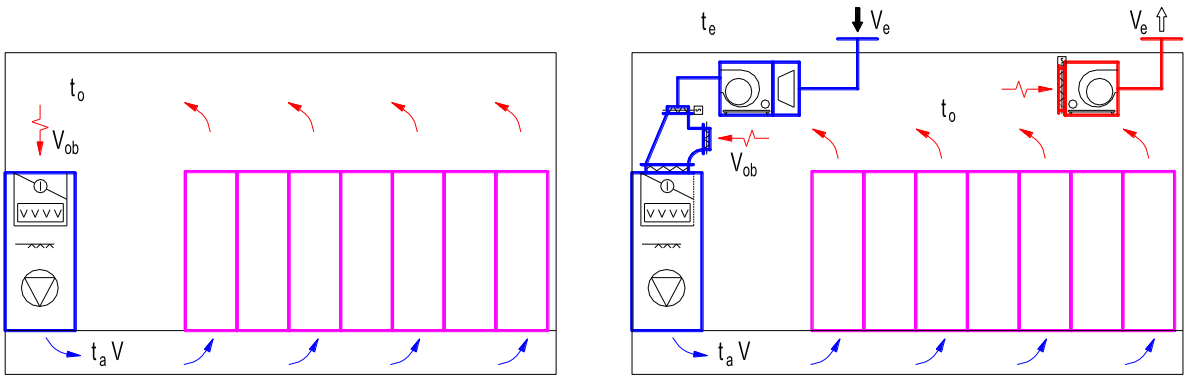
Potenciál využití venkovního vzduchu pro odvod tepelné zátěže - přímé volné chlazení je patrný z Obr. 1, kde je uvedena četnost výskytu venkovního vzduchu pro různé klimatické roky pro Prahu. Z grafu je zřejmé, že během roku je teplota venkovního vzduchu cca 90 % času nižší než 21 °C (21 °C odpovídá teplotě přiváděného vzduchu v řešeném příkladu – viz dále).

Obr. 1 *Četnost výskytu teploty venkovního vzduchu během roku v Praze*

ANALÝZA ENERGETICKÝCH ÚSPOR

Identifikace datového sálu

Analýzy potenciálních energetických úspor při aplikaci přímého volného chlazení venkovním vzduchem byly realizovány na konkrétním datovém sálu. Jedná se stávající datový sál, který je v provozu již několik let. Sál je vybaven cirkulačním chlazením v podobě jednotek pro přesnou klimatizaci (Obr. 2a), jedná se o chladivový klimatizační systéme s venkovní kondenzační jednotkou. Upravený vzduch je přiváděn dvojitou podlahou do chladné uličky mezi rozvaděči, odkud je převáděn skrze IT technologii do uličky teplé a odtud je následně zpět nasáván do jednotky přesné klimatizace.



Obr. 2 *a) Stávající systém chlazení datového sálu, b) Upravený systém s možností využití přímého chlazení*

Identifikace datového sálu pro určení okrajových podmínek výpočtu byla stanovena z provozu konkrétního dne 21. 7. 2015. Během roku nedochází v datovém centru k výrazným výkyvům tepelné zátěže (pokud se nemění technologie) a vnitřní tepelná zátěž je dominantní. Předpokladem výpočtů tedy bylo, že se sál chová po celý rok obdobně. Vliv tepelných zisků a ztrát z venkovního prostředí byl zanedbán.

Pro stanovení okrajových podmínek výpočtu posloužil monitoring systému. V serverovém sálu jsou umístěny celkem 3 cirkulační jednotky. Na Obr. 3 je znázorněn průběh příkonu IT technologie a chladicího výkonu všech 3 jednotek instalovaných v sále. Je zřejmé, že v provozu je trvale pouze jedna jednotka (KJ23). Druhá jednotka se uvádí do chodu v případě potřeby (KJ21) a poslední jednotka slouží jako záloha (KJ22). Z průběhů je zřejmé, že celkový chladicí výkon je výrazně vyšší než příkon IT technologie, což je dáno odvlhčováním vzduchu na přímém výparníku. Na Obr. 4 jsou vidět průběhy teploty vzduchu na sání a výtlaku všech tří jednotek, vč. jednotky, která je trvale v provozu (KJ23). Tyto údaje, resp. jejich průměrné hodnoty byly použity pro výpočet jako referenční. Na Obr. 5 je znázorněn průběh relativní vlhkosti v datovém sále, která se pohybuje v rozmezí 40 až 45 %, pro analýzy byla opět použitá průměrná hodnota. Vstupní okrajové podmínky výpočtu jsou následující:

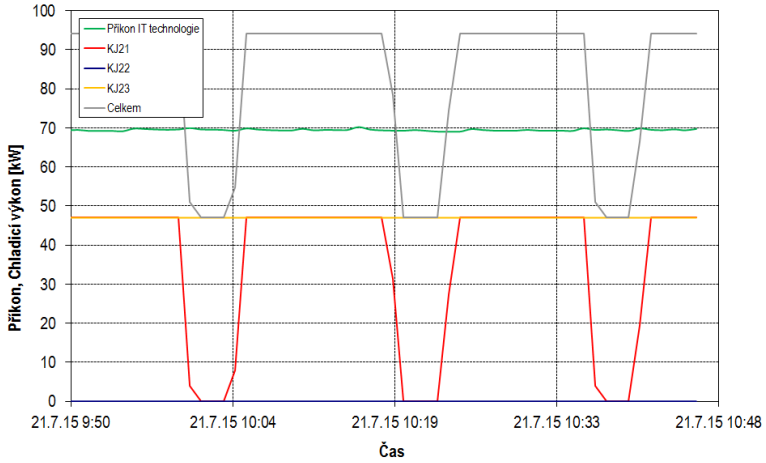
- klimatická data pro Prahu — TRY (Test reference year)
- příkon IT technologie – vnitřní tepelná zátěž — 70 kW = konst.
- vnější tepelná zátěž — zanedbána
- teplota vzduchu na přívodu do IT technologie — 21 °C
- teplota vzduchu na sání jednotek — 30 °C
- relativní vlhkost vzduchu v sále — 43 %
- průtok vzduchu jednotkami pro odvod zátěže — 23 000 m^3/h
- povrchová teplota chladiče výparníku — 5 °C
- chladicí faktor *EER* — 2,5
- cena elektrické energie — 1,9 Kč/kWh
- parametry stávajícího (cirkulačního) ventilátoru — Δp_c = 150 Pa, $\eta_{c,v}$ = 70 %

Úprava klimatizačního zařízení pro využití volného chlazení

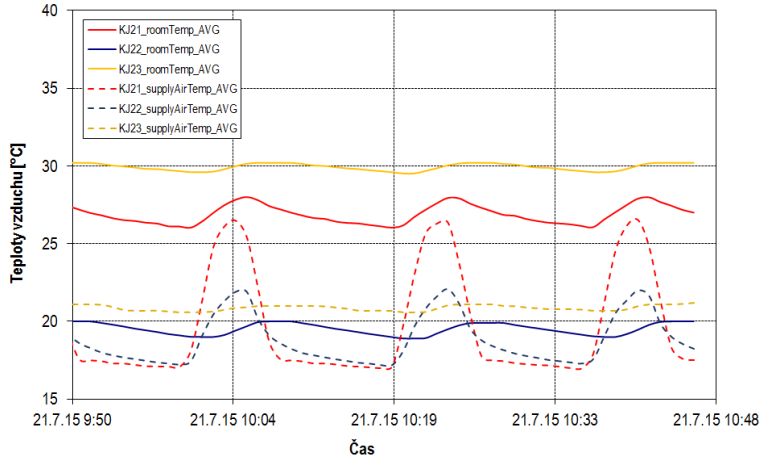
Na Obr. 2b) je schematicky znázorněna úprava klimatizačního zařízení v podobě instalace ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu, směšovací komory a nezbytné filtrace venkovního vzduchu. Vzhledem k tomu, že v datových sálech je vyžadována poměrně vysoká čistota vzduchu, není zde výjimkou třístupňová filtrace vzduchu a s čímž souvisí a zvýšené nároky na energii pro dopravu vzduchu. Venkovní vzduch je přiváděn do směšovací komory, kde se

podle potřeby směšuje s oběhovým vzduchem tak, aby teplota přiváděného vzduchu odpovídala požadované hodnotě (v našem případě 21 °C). V případě, že této teploty není po smísení dosaženo, je vzduch dochlazován v chladiči přesné klimatizace, navlhčen a následně přiváděn do datového sálu. Předpokládané parametry nově instalovaného zařízení jsou následující:

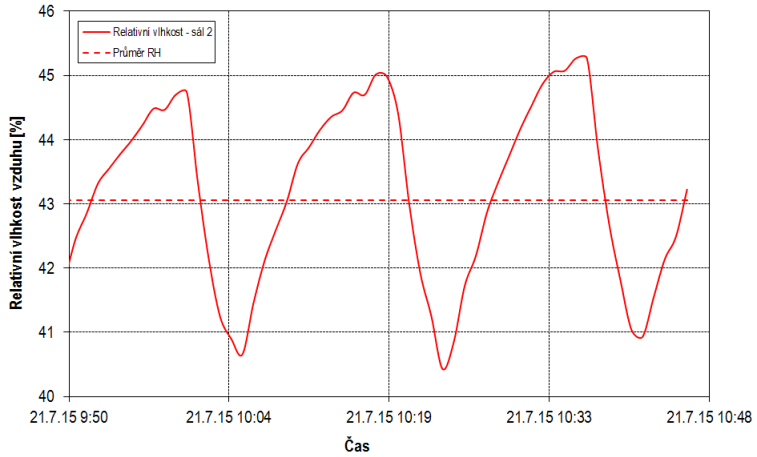
- parametry přívodního (nového) ventilátoru $\Delta p_{c,max}$ = 700 Pa, $\eta_{c,v}$ = 70 %
- parametry odvodního (nového) ventilátoru $\Delta p_{c,max}$ = 100 Pa, $\eta_{c,v}$ = 70 %



Obr. 3 *Průběh teplot chladicího výkonu a příkonu IT technologie v datovém sále*



Obr. 4 *Průběh teplot vzduchu na sání a výtlaku klimatizačních jednotek v datovém sále*



Obr. 5 *Průběh relativní vlhkosti v datovém sále*

Princip výpočtu

Výpočet potřeby energie na chlazení vzduchu byl realizován na základě postupu uvedeném v literatuře [9]. Analýza je založena na psychrometrických výpočtech popisujících úpravu vzduchu během roku při proměnných klimatických podmínkách. Předpokládá se, že chlazení probíhá teoreticky po „přímce“, která je určena stavem vzduchu před chladičem a stavem popisujícím povrch chladiče. Na základě rozdílu entalpií mezi nasávaným a přiváděným vzduchem byl stanoven chladicí výkon a následně potřeba resp. spotřeba energie na chlazení. Obdobný postup byl použit pro stanovení spotřeby energie na vlhčení vzduchu.

Jak již bylo zmíněno, poměr venkovního a oběhového vzduchu není konstantní, ale je vypočítán na základě požadavku na teplotu přiváděného vzduchu. Pro účely prováděných analýz byla možnost využití venkovního vzduchu v rozsahu 0 až 100 %. Spotřeba energie na dopravu vzduchu byla stanovena podle [5] s tím, že zadaný dopravní tlak ventilátoru byl přiřazen k maximálnímu průtoku venkovního vzduchu

$$\Delta p_c = k \cdot V_{\max}^2 \qquad (1)$$

Ze vztahu (1) byla stanovena konstanta potrubní sítě *k* a při změně průtoku byla tlaková ztráta přepočítána – předpokládá se regulace průtoku venkovního a odpadního vzduchu změnou otáček ventilátoru.

Výpočet byl realizován s hodinovým časovým krokem. Základem výpočtu je znalost venkovních klimatických podmínek. Pro analýzy byl použit referenční klimatický rok zpracovaný pro Prahu (TRY – Test Reference Year). Referenční rok prezentuje reálná charakteristická klimatická data pro účely výpočtu energetické potřeby budov.

Z výsledných hodnot spotřeby energie lze vyhodnotit hodnotu *PUE* (Power Usage Effectiveness) jako:

$$PUE = \frac{Celková\ energie\ na\ vstupu}{Energie\ na\ IT} = \frac{P_{chl} + P_{vlh} + P_{vent} + P_{čerp} + P_{IT}}{P_{IT}} \ [-] \qquad (2)$$

VÝSLEDKY

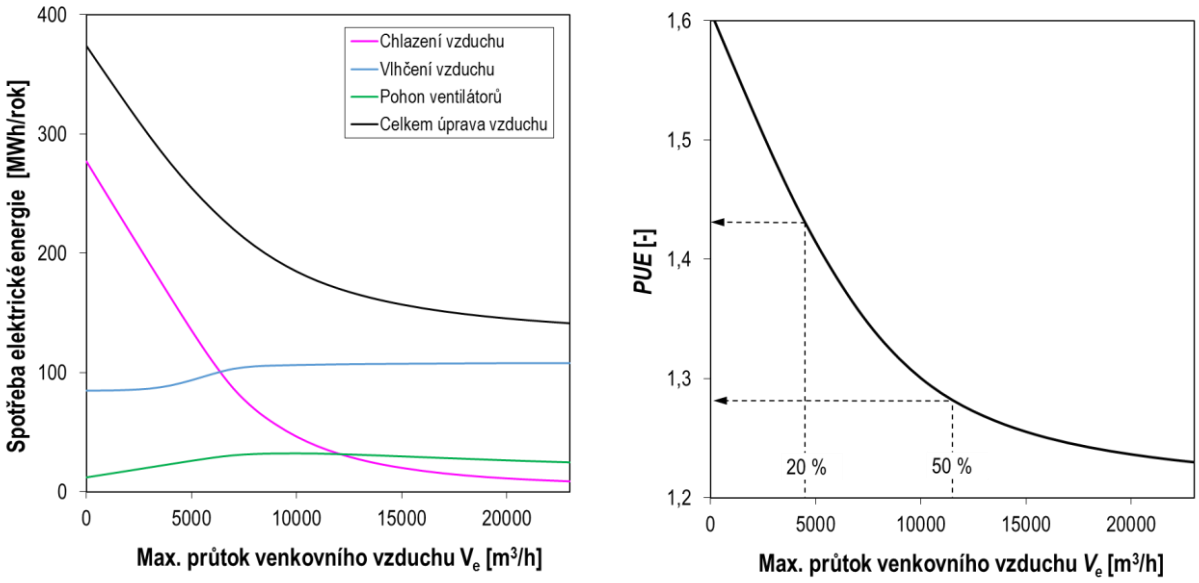
Spotřeba energie

Na základě bilance tepelných toků v rámci hodinového výpočtu byly vyhodnoceny spotřeby elektrické energie, které souvisí s úpravou vnitřního prostředí, tj. potřeby energie na chlazení, vlhčení, příp. dopravu venkovního vzduchu. Výsledky jsou zobrazeny na Obr. 6a. Je zřejmé, že venkovní vzduch přispívá k úsporám energie na chlazení – kompresorové chladicí zařízení nemusí být tak často v provozu. Naopak spotřeba energie na vlhčení podle předpokladu roste, stejně tak spotřeba na pohon ventilátorů. Na Obr. 6b) jsou výsledky zobrazeny v podobě hodnoty *PUE*, která dobře vypovídá o celkové efektivitě využití energií v datovém sále.

Náklady

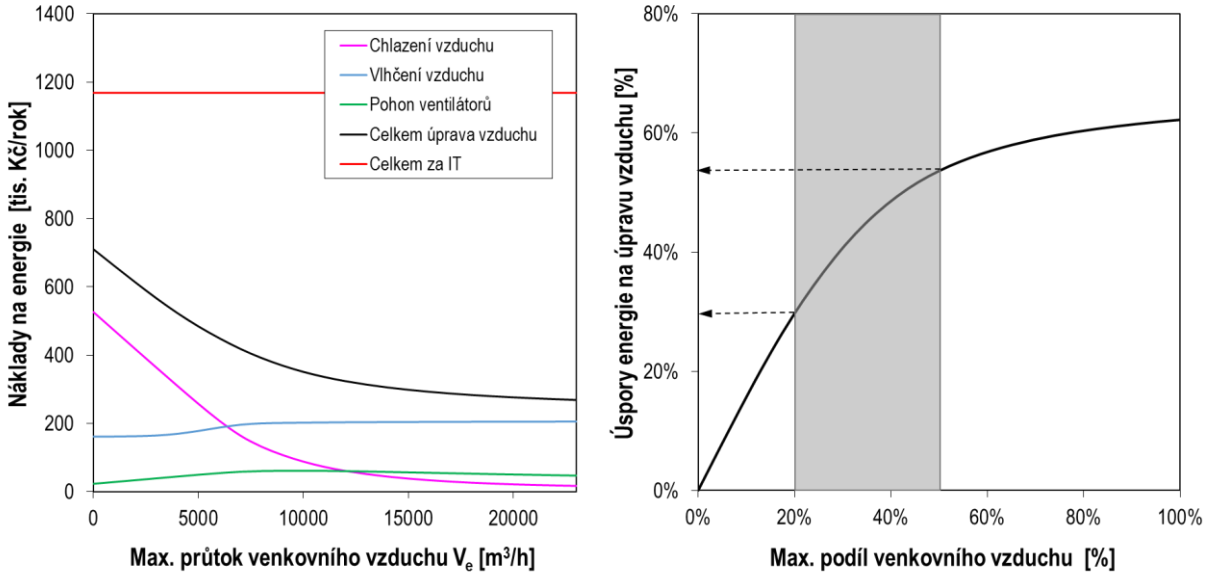
Na Obr. 7a) jsou znázorněny náklady na energie a výsledný finanční přínos navrženého opatření v případě využití venkovního vzduchu pro volné chlazení. Platba za příkon IT technologie je logicky konstantní, snižuje se výrazně celková platba za energie pro úpravu vzduchu. Z výše uvedeného grafu na Obr. 7a) je zřejmý potenciál finanční úspory při aplikaci přímého volného chlazení. V Obr. 7a) jsou vyčísleny úspory pro analyzovaný datový sál, tj. pro příkon IT technologie 70 kW. I když uvedené výsledky platí pro konkrétní okrajové podmínky lze je zobecnit a úspory pro jiný příkon IT technologie jednoduše přepočítat. Podíl

venkovního vzduchu má smysl uvažovat v rozmezí 20 až 50 %. S dalším zvyšování podílu průtoku venkovního vzduchu rostou úspory již minimálně (viz Obr. 7b).



a) *b)*

Obr. 6 *Průběhy spotřeb elektrické energie (a) a PUE (b) při využití venkovního vzduchu pro volné chlazení ve zkoumaném datovém sále*



a) *b)*

Obr. 7 *a) Náklady na energie při definované ceně 1,9 Kč/kWh b) Procentuální úspory při definovaném maximálním podílu venkovního vzduchu*

DISKUZE

Vnitřní prostředí datových center

Požadavky na vnitřní prostředí v datových centrech jsou popsány v ASHRAE TC 9.9 [1], což je v podstatě jediný obecně uznávaný dokument svého druhu. Aktuální požadavky pro datová centra jsou uvedeny v Tab. 1. Na 0 jsou požadavky na vnitřní prostředí zakresleny v h-x

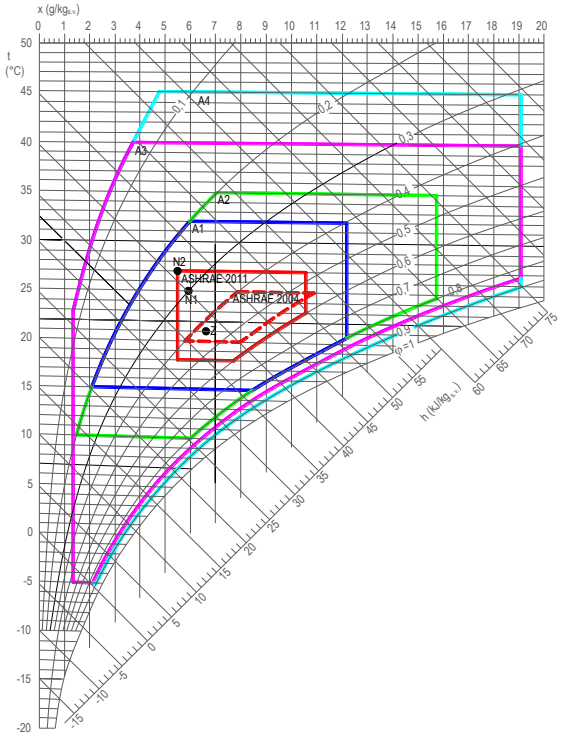
diagramu vlhkého vzduchu. V roce 2008 resp. 2011 došlo k významnému uvolnění požadavků na vnitřní prostředí datových center z roku 2004 [1]. Původní požadavky jsou v 0 znázorněny čárkovanou oblastí. Toto uvolnění požadavků má vliv samozřejmě i na energetickou náročnost klimatizace. Nové definice kategorie prostředí datových center [4] jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 1 *Požadavky na vnitřní prostředí datových center podle ASHRAE [3]*

	Kategorie prostředí	**Teplota vzduchu t_a [°C]**	**Vlhkostní rozsah**	**Maximální teplota rosného bodu $t_{RB,max}$ [°C]**
Doporučené parametry	A1 až A4	18 až 27	od t_{RB} = 5,5 °C do φ = 60 % a t_{RB} = 15 °C	-
Přípustné parametry	A1	15 až 32	φ = 20 až 80 %	17
	A2	10 až 35	φ = 20 až 80 %	21
	A3	5 až 40	od t_{RB} = -12 °C a φ = 8 % do φ = 85 %	24
	A4	5 až 45	od t_{RB} = -12 °C a φ = 8 % do φ = 90 %	24

V 0 je vyznačen stav vzduchu (bod Z), který je udržován v prezentovaném datovém sále. Je vidět, že tento bod leží v oblasti definované starším předpisem ASHRAE z roku 2004. Otázkou tedy je, jakým způsobem ovlivní změna parametrů prostředí spotřebu energie. Pro sledování tohoto vlivu byly vybrány další 2 stavy vzduchu, které leží v oblasti současných doporučených hodnot.

- Stav Z: t_a = 21 °C a φ = 43 % (zkoumané datové centrum)
- Stav N1: t_a = 25 °C a φ = 30 %
- Stav N2: t_a = 27 °C a φ = 25 % (hraniční stav vzduchu)



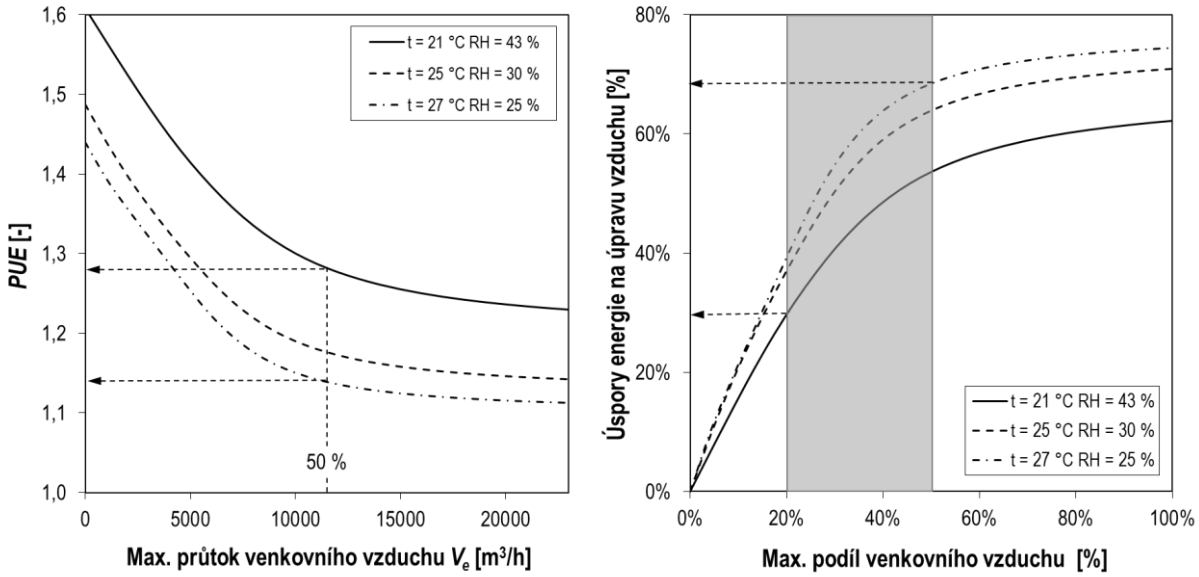
Výsledky analýz v podobě teoreticky stanovené hodnoty *PUE* jsou znázorněny na 0a). I když z celkových výsledků to není příliš patrno, stěžejní vliv na potřebu energie má obsah vodní páry ve vzduchu (měrná vlhkost přiváděného vzduchu *x*). Citelný tepelný tok pro odvedení vnitřní tepelné zátěže se prakticky nemění.

Na 0b) je znázorněn potenciál úspor na úpravu vzduchu při odlišných parametrech přiváděného vzduchu (vzduchu nasávaného IT technologií). Z uvedených výsledků je zřejmý již zmiňovaný závěr o smysluplnosti opatření v podobě dodatečné instalace přímého volného chlazení z hlediska podílu venkovního vzduchu v rozsahu od 20 do 50 %.

Obr. 8 *Diagram h-x se zakreslením oblastí pro různé kategorie prostředí podle ASHRAE*

Tab. 2 *Kategorie prostředí datových center podle ASHRAE [3]*

Kategorie prostředí	**Popis**
A1	Datové centrum s přesně regulovanými parametry prostředí (rosný bod, teplota a relativní vlhkost); s úkolem kritických operací. Typicky určeno pro podnikové servery a úložiště.
A2	Obvykle prostor určený pro informační technologie, kancelář nebo laboratorní prostředí s určitou regulací (úpravou) parametrů prostředí (rosný bod, teplota a relativní vlhkost). Typicky určeno pro hostitelské servery, úložiště, osobní počítače a pracovní stanice.
A3	
A4	



a) *b)*

Obr. 9 *Energetické úspory/přínosy při různých stavech přiváděného vzduchu dle doporučení ASHRAE*

Chladicí faktor EER

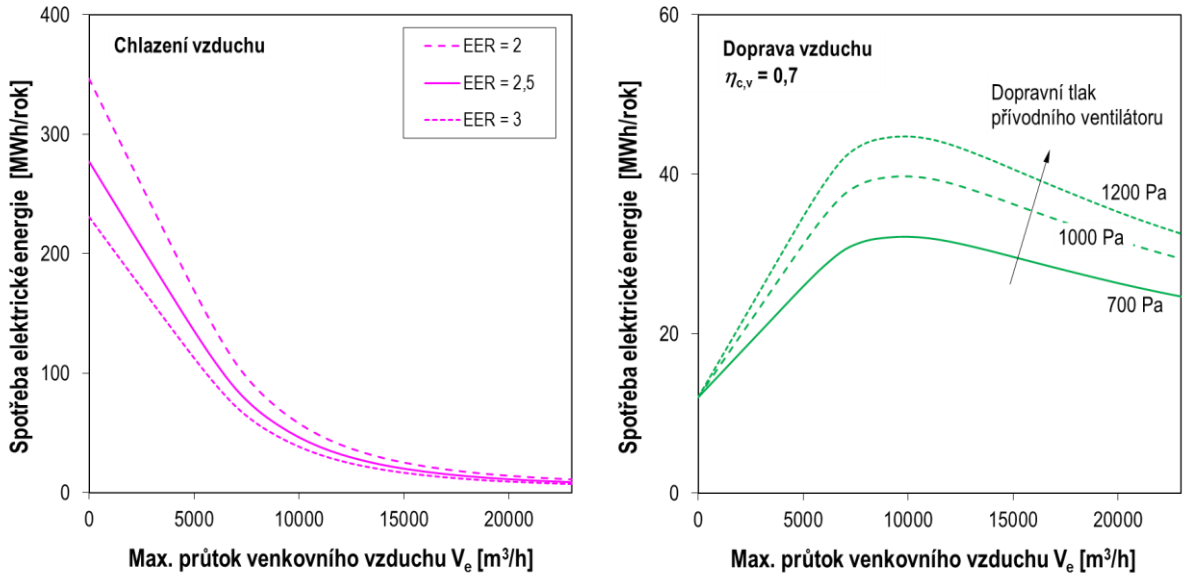
Veškeré analýzy byly realizovány s průměrnou hodnotou chladicího faktoru *EER* = 2,5. Důvodem je praktická nedostupnost údajů o chování zařízení při změně venkovních a/nebo vnitřních podmínek během roku. Ne každý výrobce takovou závislostí disponuje, často jsou dostupné údaje pouze pro jmenovité podmínky. Skutečná spotřeba energie na chlazení je na hodnotě chladicího faktoru samozřejmě závislá, při znalosti konkrétní hodnoty *EER* jí však lze poměrně jednoduše přepočítat (0a).

Spotřeba energie na pohon ventilátorů

V datových centrech je vyžadována poměrně vysoká čistota ovzduší podle ČSN ISO 14644-1 [1], zpravidla třídy ISO 8 a vyšší [7]. Při použití přímého volného chlazení vede takový požadavek často na třístupňovou filtraci vzduchu. S provozem takového zařízení je spojená značná tlaková ztráta, kterou musí přívodní ventilátor překonat. Spotřeba energie pro pohon ventilátorů závisí právě na jejich dopravním tlaku a účinnosti.

Pro účely analýz prezentovaných v tomto příspěvku byly použity zvolené okrajové podmínky (viz výše). Na 0b) je vidět jakým způsobem se mění spotřeba energie pro pohon ventilátorů

v závislosti na změně dopravního tlaku přívodního ventilátoru. Pokles spotřeby energie od průtoku cca 10 000 m^3/h je způsoben skutečností, že dopravní tlak ventilátoru odpovídá vždy maximálnímu průtoku venkovního vzduchu. Jak již bylo zmíněno, max. průtok venkovního vzduchu není potřeba využívat trvale a pracovní bod ventilátoru se tak během roku posouvá po charakteristice potrubní sítě.



a) *b)*

Obr. 10 *a) Spotřeba energie na chlazení zkoumaného datového sálu při změně průměrného chladicího faktoru EER, b) Spotřeba energie pro dopravu vzduchu při změně dopravního tlaku přívodního ventilátoru*

ZÁVĚR

Přímé volné chlazení datových center představuje jednu z alternativ pro snížení spotřeby energie na chlazení IT provozů. Při přímém volném chlazení venkovním vzduchem je nutno počítat s vyššími nároky na dopravu a vlhčení vzduchu v zimním období roku. Značný potenciál pro úspory energie má i uvolnění požadavků na vnitřní prostředí v datových centrech, samozřejmě za předpokladu, že jsou takové podmínky z pohledu konkrétní IT technologie přijatelné.

Z technického pohledu skýtá prezentované řešení určitá úskalí, a ne vždy ho lze bez problémů použít. Jedná se zejména o:

- vysoké nároky na čistotu vzduchu v datových centrech,
- prostorové nároky pro vedení vzduchovodů a umístění zařízení,
- možnost nasávat vzduchu z venkovního prostředí (ideálně krátkým vzduchovodem - přes vnější fasádu nebo střechu),
- riziko kondenzace vodní páry na povrchu vzduchovodů a nutná izolace,
- nutný zásah do systému měření a regulace.

V případě zkoumaného datového sálu je prostá doba návratnosti opatření v podobě dodatečné instalace zařízení pro přímé volné chlazení cca 1 rok. Do výsledného ekonomického hodnocení se promítnou i nutné náklady na výměnu filtrů a případnou údržbu a servis.

LITERATURA

[1] ČSN ISO 14644-1: 2016 Čisté prostory a příslušné řízené prostředí - Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic. ÚNMZ.

[2] ASHRAE Publication. Thermal guidelines for Data Centers and other Data Processing Environments. Atlanta, 2004.

[3] ASHRAE. 2008. Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 2nd Edition.

[4] ASHRAE TC 9.9 Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance. 2011.

[5] DRKAL, F., ZMRHAL, V. *Větrání*. Praha: ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.

[6] STEINBRECHER, R., A., SCHMIDT, R. *Data Center Environments ASHRAE's volving Thermal Guidelines*. ASHRAE Journal. 2011.

[7] KAPOUN, J. Čistota v datovém centru a její aspekty. In: Kompletně. Complete. Zima 2012/2013.

[8] ZMRHAL, V. Riziko kondenzace u vysokoteplotních klimatizačních systémů. In *Vytápění, větrání, instalace*. roč. 23, č. 2, s. 76-80, 2014. ISSN 1210-1389

[9] ZMRHAL, V. Porovnání spotřeby energie vodních klimatizačních systémů. In: *Vytápění, větrání, instalace.* roč. 19, č. 2, str. 80-83. 2010.

[10] ZMRHAL, V. *Souvislost mezi návrhem chladiče centrální VZT jednotky a rizikem kondenzace u vysokoteplotních klimatizačních systémů.* In: V. sympozium Integrované navrhování a hodnocení budov 2014. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2014, s. 76-82. ISBN 978-80-02-02563-4.

[11] Klimatizace datových center. Sborník přednášek. Společnost pro techniku prostředí. 2014.

SEZNAM OZNAČENÍ

EER	chladicí faktor	[-]
P	příkon	[W]
PUE	Power Usage Effectiveness	[-]
t_a	teplota vzduchu (suchého teploměru)	[°C]
t_{RB}	teplota rosného bodu	[°C]
Δp_c	celkový dopravní tlak ventilátoru	[Pa]
V_e	průtok venkovního vzduchu	[m^3/h]
V_{ob}	průtok oběhového vzduchu	[m^3/h]
V	průtok přiváděného vzduchu	[m^3/h]
φ	relativní vlhkost	[%]
η	účinnost	[-]

NÁVRH ENERGETICKY ÚSPORNÉ VZT JEDNOTKY

Petr Žemlička

JANKA ENGINEERING s. r. o.

petr.zemlicka@janka.cz

ANOTACE

Problematika návrhu energeticky úsporné VZT jednotky v návaznosti na požadavky nařízení Evropské komise 1253/2014.

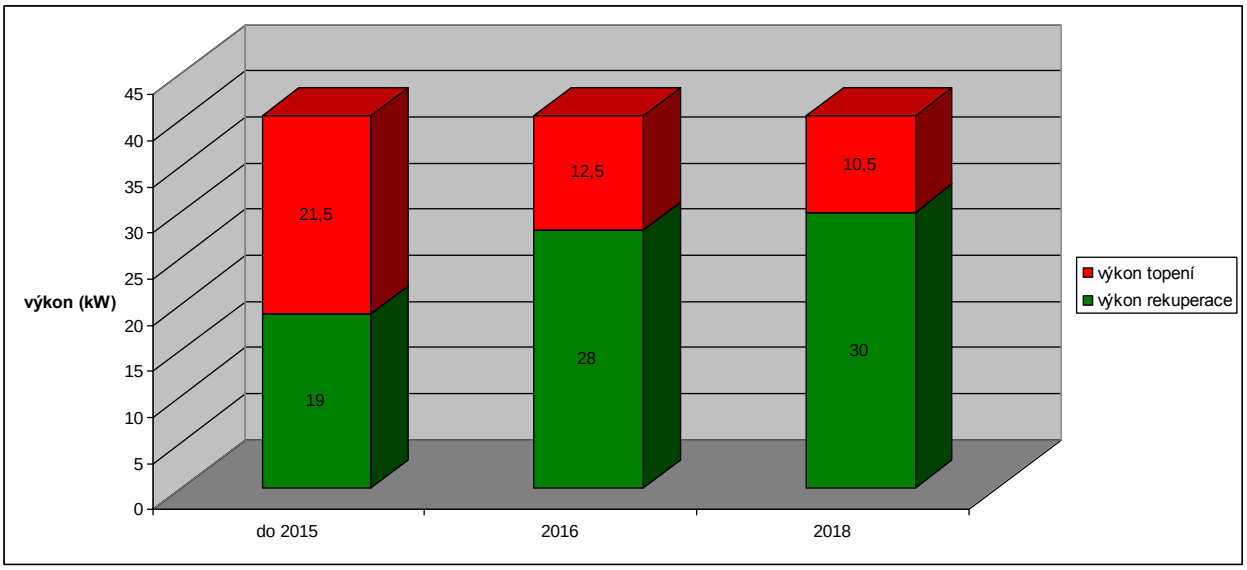
ÚVOD

Současná i budoucí nařízení Evropské komise v oblasti energetické náročnosti systémů Technického zařízení budov s pozitivními efekty nesporně přináší i vedlejší jevy, které se mohou negativně projevit na konstrukci a následném provozu klimatizačního zařízení. Proto je při návrhu takového zařízení brát ohled na důležité parametry mající vliv na provoz vzduchotechnické jednotky.

Potřeba tepla pro ohřev přiváděného vzduchu

Nařízení Evropské komise 1253/2014 stanovuje základní soubor parametrů a jejich limitní hodnoty, kterých nově dodávaná zařízení musejí dosahovat. Jedním z hlavních parametrů je účinnost zpětného zisku energie. Tento důležitý stavební prvek vzduchotechnické jednotky má při provozu zásadní vliv na parametry vzduchu a tím i na provoz celé jednotky.

V následujícím grafu je znázorněna potřeba tepla pro dohřátí přiváděného množství vzduchu 3 000 m^3/h, teplota nasávaného vzduchu je -15 °C, teplota přiváděného vzduchu je 25 °C. Pro dohřátí vzduchu těchto parametrů je potřeba 40,5 kW tepla. Z uvedených hodnot vyplývá, že zatím co jednotka neplnící nařízení Evropské komise 1253/2014 měla potřebu tepla mezi zpětný zisk a ohřívač rozloženu přibližně v poměru 50 % / 50 % má jednotka plnící nařízení této směrnice od 1.1.2016 tento poměr 70 % / 30 % a jednotka plnící požadavky od 1.1.2018 má poměr potřeby tepla pro zpětný zisk tepla a ohřívač v poměru 74 % / 26 %.

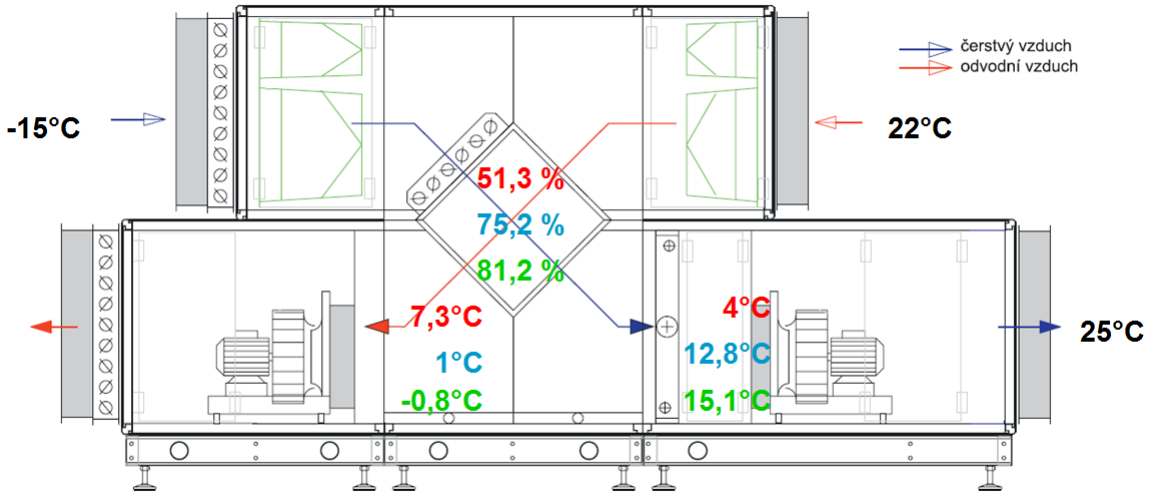


Obr. 1 *Rozložení potřeby tepla v závislosti na účinnosti rekuperace*

Takto zásadně se měnící podíl potřeby tepla pro ohřívač je pro bezproblémový provoz celé jednotky potenciálním problémem, který je nutno řešit.

Vliv účinnosti na teploty vzduchu v jednotce

Rostoucí účinnost zpětného zisku s sebou přináší pozitivní efekt – snížení výkonu ohřívače potřebného na ohřátí vzduchu přiváděného do větraných prostor. Rozložení těchto teplot je znázorněno na Obrázku č. 2.



Jednotka neplnící nařízení EK

Jednotka plnící nařízení EK od 1.1.2016

Jednotka plnící nařízení EK od 1.1.2016

Obr. 2 *Vliv účinnosti ZZT na teploty vzduchu*

Všimněme si také teplot odváděného vzduchu. Pro zařízení plnící požadavky stanovené nařízením Evropské komise č. 1253/2014 je teplota odváděného vzduchu za výměníkem zpětného zisku tepla blízko nule. Při takovýchto teplotách bude docházet k namrzání výměníku zpětného zisku tepla. Aby se tomuto jevu zabránilo je potřeba regulovat polohu klapky bypassu. Tato klapka může být v extrému zcela otevřená a vodní ohřívač bude vstupovat vzduch o teplotě shodné s venkovní teplotou. Velmi často bývá z důvodu investičních úspor výměník dimenzován na výkon požadovaný pro dohřev vzduchu a nemá dostatečnou výkonovou rezervu. V takovém případě bude docházet k velmi častému odstavování vzduchotechnické jednotky protimrazovou ochranou a v krajním případě hrozí i zamrznutí výměníku jehož výsledkem je těžko opravitelné poškození. Z tohoto důvodu je vhodné **ohřívač dimenzovat na ohřev z venkovní teploty na požadovanou teplotu přiváděného vzduchu** (v našem příkladu tedy na celých 40,5 kW).

Možná řešení

Abychom předešli častému odstavovaní zařízení a tím snížení komfortu ve větraném prostoru, je nutné se zamyslet nad řízením provozu jednotky v extrémních podmínkách. Řešení je několik a v rámci tohoto příspěvku uvedu několik nejjednodušších způsobů.

Nic neřešit…

.. vždyť se jedná jen o pár dní v roce. Ano, i toto může být řešení.

Výhody: - jednoduchost

- nulové náklady

Nevýhody: - nekoncepční řešení

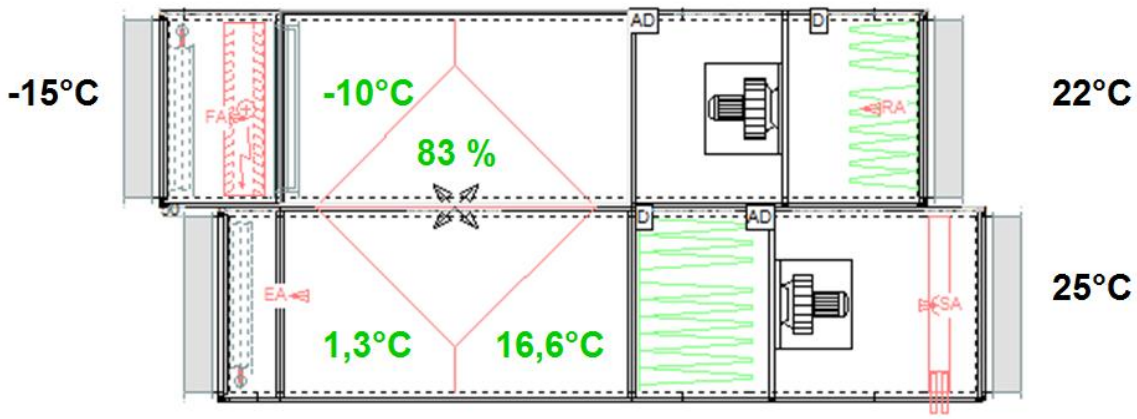
- pod limitní venkovní teplotou zařízení nelze provozovat

- poškození dobrého jména zainteresovaných společností a osob

- náklady na odstranění reklamace

Instalace elektrického předehřívače

Pro zabezpečení plného provozu zařízení v extrémních podmínkách lze použít elektrický ohřívač instalovaný na vstupu venkovního vzduchu do jednotky – viz Obrázek č. 3. tento elektrický ohřívač při dosažení kritické venkovní teploty předehřívá nasávaný venkovní vzduch na teplotu, která nepředstavuje riziko namrzání výměníku zpětného zisku tepla.



Obr. 3 *Instalace elektrického předehřívače*

Výhody: - jednoduchost

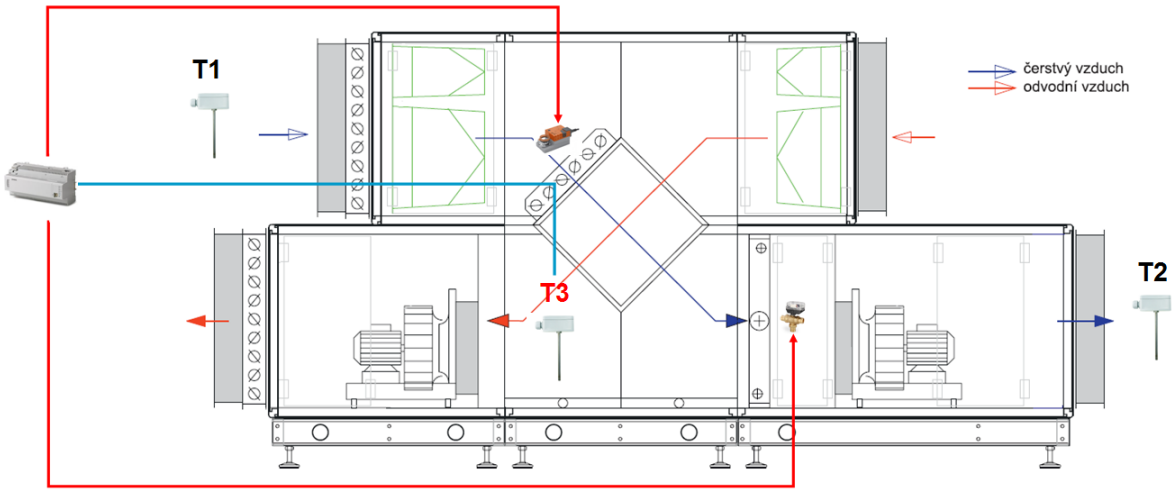
- zajištění provozu zařízení i podlimitní venkovní teplotou

Nevýhody: - vyšší investiční náklady

- v období s velmi nízkou venkovní teplotou jsou vyšší provozní náklady

Řízení Bypassu dle teploty odváděného vzduchu za ZZT

Jako nejvýhodnější řešení se jeví měření teploty odváděného vzduchu za výměníkem zpětného zisku tepla s následnou úpravou polohy klapky bypassu tak, aby se teplota odváděného vzduchu a zpětným ziskem tepla pohybovala kolem 2 °C.



Obr. 4 *Řízení Bypassu podle teploty odváděného vzduchu za ZZT*

Výhody: - plynulá reakce na změny parametrů venkovního vzduchu

- zajištění provozu zařízení i pod limitní venkovní teplotou
- nízké provozní náklady

Nevýhody: - vyšší investiční náklady

ZÁVĚR

S očekávanými revizemi nařízení Evropské Komise 1253/2014 lze očekávat zpřísnění požadavků na limitní hodnoty parametrů klimatizačních zařízení. S rostoucími nároky na energetickou efektivitu vyráběných zařízení bude nabývat na důležitosti nejen správné dimenzování nejen komponentů vzduchotechnických a klimatizačních zařízení, ale současně bude nabývat na důležitosti i pohled na systém jako celek.

TEPELNÁ ČERPADLA SE SYSTÉMY PLOŠNÉHO VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ

Ing. Martin Horský

ALPHATEC comfort systems s. r. o.
martin.horsky@alphatec.cz

ANOTACE

Standardní systémy pro vytápění a chlazení (VRV systémy, vzduchotechnika, fan-coily) jsme porovnali s plošnými systémy jak po stránce provozních charakteristik, tak i samotné efektivity vytápění a chlazení. Účinnost jednotlivých systémů demonstrujeme v podobě topných a chladicích faktorů při kombinaci s tepelným čerpadlem**.**

ÚVOD

V současné moderní architektuře je kladen důraz na čistotu a vzdušnost prostoru. Systémy vytápění jsou využívány v podobě moderních, či retro designových otopných těles, nebo se integrují do konstrukcí v podobě plošných systémů vytápění. Z hlediska komfortu je u moderních budov často kladen požadavek i na chlazení. Nejčastějším řešením v oblasti chlazení bývají VRV chladicí systémy, které nejenom že chladí, ale dokáží i topit. V následujícím článku chceme naznačit trendy v oblasti systémů pro vytápění a chlazení, které překvapí nejen hospodárností provozu, ale i vysokým komfortem.

Návrh systému pro vytápění a chlazení

Při návrhu vytápění a chlazení nelze systém jednoduše rozdělit na plochu předávající teplo a zdroj tepla. Systémy jsou specifické celoročním provozem, v zimní sezóně slouží pro vytápění, v letní sezóně mohou chladit a průběžně jsou schopné zajišťovat přípravu teplé vody. Při návrhu jedné strojovny pro vytápění a chlazení je nutné brát v úvahu a dimenzovat primárně náročnější z variant provozu (topení či chlazení) a druhou variantu přizpůsobit návrhu první.

Z hlediska úspory investičních nákladů zde nepočítáme se samostatným zařízením pro vytápění a samostatným zařízením pro chlazení. Vše je řešeno v jedné strojovně topení i chlazení.

Tab. 1 *Charakteristiky systémů pro vytápění a chlazení.*

	VRV systémy	**Vzduchotechnika**	**Fan-coily**	**Plošné chladicí systémy – mokré systémy**	**Plošné chladicí systémy – suché systémy**
Způsob předávání chladu	Podchlazený proud vzduchu, který lze směrově upravovat	Podchlazený proud vzduchu v místech s distribučními elementy	Podchlazený proud vzduchu v místě jednotky	Plošná konstrukce – sálání – velmi pomalý proud vzduchu v celé ploše	
T teplonosné plochy při chlazení	T kondenzátoru 6–12 °C	T chladiče 6–12 °C	T chladiče 6–12 °C, T kondenzátoru 6–10 °C	Teplota povrchu konstrukce nesmí klesnout pod teplotu rosného bodu	
Kondenzace při chlazení	Kondenzuje, nutný odvod kondenzátu			Nesmí kondenzovat	
Výkon	Zařízení jsou schopna pokrýt tepelnou zátěž i ztrátu			V moderních stavbách jsou schopny pokrýt tepelnou	

				ztrátu, tepelnou zátěž zpravidla částečně *	
Rychlost náběhu, regulační schopnost	Rychlá reakce, dokáže se přizpůsobit aktuální potřebě výkonu			Velmi pomalá reakce **	Rychlost reakce závisí na krycí vrstvě
Regulace	Dle prostorové T	Dle venkovní T	Dle prostorové T	Prediktivní regulace	Dle prostorové či venkovní T
Rozložení chladu/tepla	Dle rozmístění a nastavení vnitřních jednotek	Dle rozmístění a nastavení distribučních elementů	Dle rozmístění jednotek	Rovnoměrně v celé ploše	
Rychlost proudu vzduchu	Dle nastavení na jednotce může být i více než 0,25 m/s	Dle hygienických předpisů – max. 0,25 m/s v pobytové zóně	Dle nastavení otáček ventilátoru	Velmi nízká rychlost konvekčního proudu	
T teplonosné látky při chlazení	Chladivo – dle diagramu chladiva	V případě přímého chladiče dle diagramu chladiva, u vodního chladiče 6 °C (může být i vyšší)		Standardně 16–19 °C	Standardně 18–20 °C
Hlučnost	Vnitřní jednotka je osazena ventilátorem, hlukové zatížení je závislé na typu zařízení	Vzduchotechnické rozvody musí splňovat hygienické limity – náročné na útlum hluku	Vnitřní jednotka je osazena ventilátorem, hlukové zatížení je závislé na typu zařízení	Minimální hlučnost, teplosměnná plocha nevytváří žádný hluk	

Poznámky k tabulce:

T = teplota

**) Chlazení je limitováno teplotou rosného bodu – max. 60 W/m^2*

***) Výkon je akumulován v konstrukci a až poté sálán do prostoru*

PŘEDNOSTI PLOŠNÝCH SYSTÉMŮ VYTÁPĚNÍ / CHLAZENÍ

Podlahové vytápění / chlazení

Při vytápění je z hlediska jednotlivých otopných ploch optimálního přenosu tepla dosaženo prostřednictvím podlahových systémů, při kterých dochází k ideálnímu teplotnímu rozložení. V oblasti chlazení jsou však podlahové plochy vzhledem k nízkému součiniteli přestupu méně vhodné, mají nižší výkon a chlad se drží u podlahy – není rovnoměrně rozložen po výšce místnosti. Přesto jsou ale podlahové systémy výrazně komfortnější než standardní systémy využívající nucené proudy vzduchu. Díky poloze, v oblasti nejčastěji zatížené sluneční radiací, dochází k přímému odvádění solární tepelné zátěže mimo ochlazovaný prostor a tepelná zátěž tak není akumulována v konstrukci podlahy. Povrchová teplota podlahy stejně jako ostatních plošných systémů neklesá pod 22 °C – pobyt v prostorech s podlahovým chlazením není navzdory všem předpokladům nepříjemný.

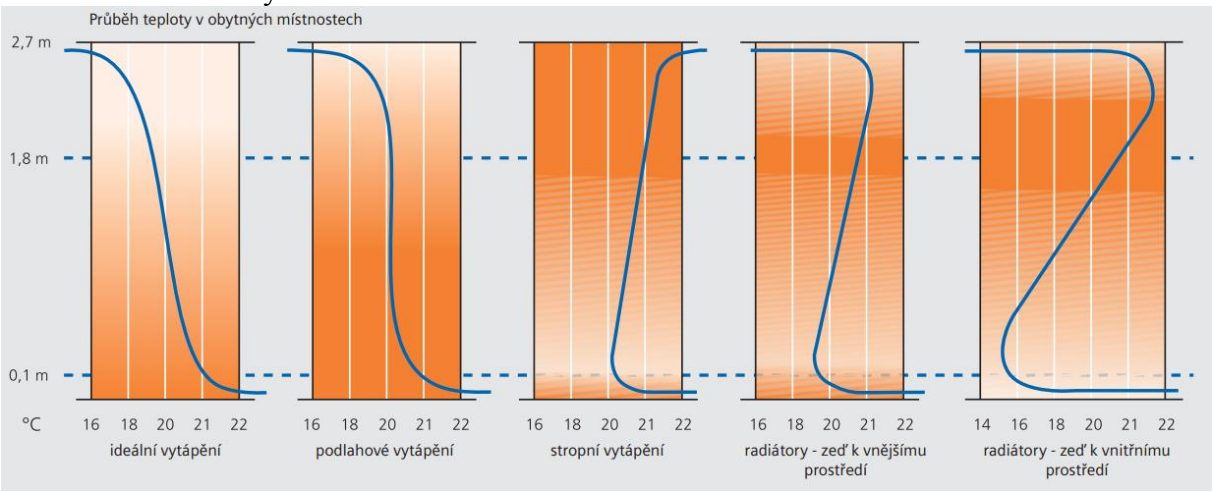
Stropní vytápění / chlazení

Z hlediska teplotního rozložení je nejvhodnější chlazení pomocí chladicích stropů, chlad přestupuje do prostoru a rovnoměrně padá do celého prostoru. Z hlediska komfortního vytápění zde naopak klesá přestupový součinitel. Rozložení teplot v prostorech vytápěných stropy není ideální, teplý vzduch se hromadí pod stropem a v oblasti hlavy, ale i tak díky větší sálavé složce není nepříjemný oproti konvekčním či nuceným proudům.

Kombinace stropního chlazení a podlahového vytápění

Dle výše popsaných vlastností stropů a podlah se nejideálnější variantou jeví kombinace stropního chlazení a podlahového vytápění. Z hlediska komfortu dochází jak při vytápění, tak

při chlazení k ideálnímu rozložení teplot, nevznikají zde ani chladné, ani teplé proudy. Nedochází k žádné hlukové zátěži. V případě vyšších tepelných ztrát, či vyšších tepelných zátěží lze systémy spustit v kombinaci a dosáhnout tak maximálního komfortu i v oblastech mimo návrhové stavy.



Obr. 1 *Průběh teplot v prostoru dle typu teplosměnné plochy (dle údajů výrobce plošných systémů vytápění/chlazení Roth)*

POROVNÁNÍ EFEKTIVITY VYTÁPĚCÍCH/CHLADICÍCH SYSTÉMŮ NA ZÁKLADĚ COP A EER

Zásadním parametrem pro plošné vytápění a chlazení je teplotní spád pro vytápění a teplotní spád pro chlazení. U plošného vytápění se výstupní teploty pohybují v oblasti nízkoteplotního vytápění (30 až 50 °C). U chlazení se jedná o vysokoteplotní chlazení, výstupní teplota do systému neklesá pod 16 °C. Výhody nízkého teplotního spádu při vytápění a vysokého teplotního spádu při chlazení nastíníme na provozních nákladech zdroje tepla: a to jak na vzduchových tepelných čerpadlech, tak na zemních tepelných čerpadlech.

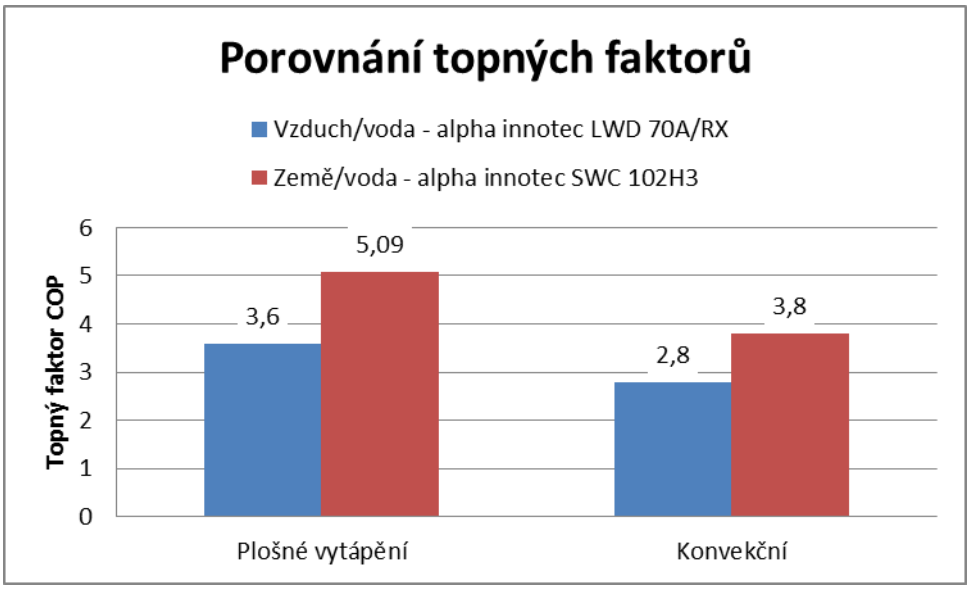
Zjednodušené srovnání provedeme na reverzibilním vzduchovém čerpadle alpha innotec LWD 70A/RX a zemním tepelném čerpadle alpha innotec SWC 102H3 (případně SWC 102K3 s pasivním chlazením).

Režim vytápění:

U vytápění bude posuzována efektivita provozu systému s plošným vytápěním s průměrnou výstupní teplotou 35 °C oproti standardnímu konvekčnímu systému s průměrnou výstupní teplotou 50 °C.

Pro porovnání zdrojů vytápění použijeme poměr výkonu a příkonu – topný faktor. Ten nám ukáže přímou účinnost jednotlivých systémů. Z provozních charakteristik obou čerpadel odečteme topné faktory při standardních podmínkách. U vzduchového čerpadla pro zjednodušení budeme brát hodnotu při průměrné teplotě v otopném období cca 2 °C. U zemního čerpadla uvažujeme hodnotu při teplotě na zdroji tepla 0 °C.

V následujícím grafu můžeme pozorovat vysoký potenciál tepelných čerpadel v kombinaci s nízkoteplotními systémy. A především velmi dobré parametry zemních tepelných čerpadel.



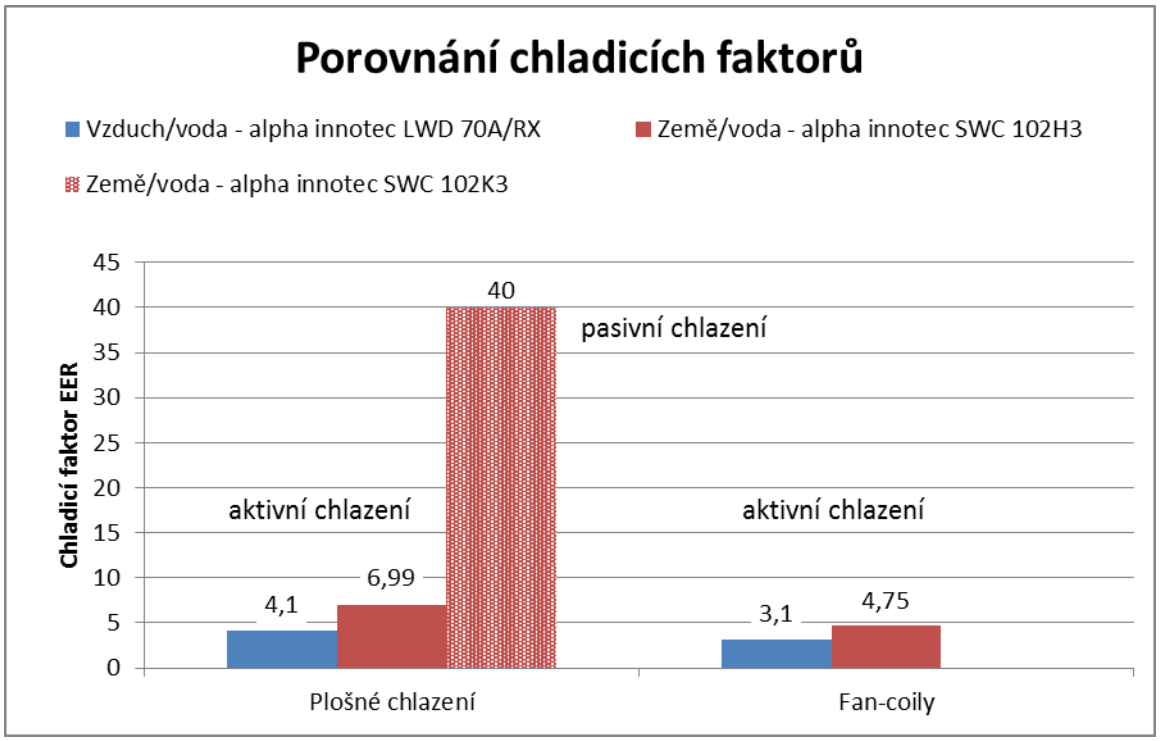
Obr. 2 *Graf porovnání topných faktorů*
Všechna data při B0/W35, B0/W50 a A2/W35, A2/W50 dle EN 14511

Režim chlazení:

Při porovnávání chlazení budeme vycházet opět z poměru výkonu a příkonu. U tepelných čerpadel vzduch/voda je to snadné, odečteme EER při venkovní teplotě 30 °C, s výstupem jak pro vysokoteplotní chlazení 18 °C, tak pro nízkoteplotní chlazení 7 °C. U tepelných čerpadel země/voda, vzhledem k tomu, že většina strojů nedisponuje vestavěným aktivním chlazením, není EER udáváno. Porovnání provedeme pomocí parametrů stanovených zjednodušenou metodou:

Stanovíme výkon tepelného čerpadla při aktivním vysokoteplotním chlazení (teplota na zdroji 18 °C) a při výstupní teplotě cca 35 °C (vychlazování do vrtu). Pro TČ se jedná o bod B18/W35, u aktivního nízkoteplotního chlazení pak o bod B7/W35. Tyto výkony podělíme součtem příkonu tepelného čerpadla a příkonu oběhových čerpadel.

Pro variantu pasivního chlazení lze provést porovnání pouze u vysokoteplotního chlazení. U nízkoteplotního chlazení lze v určitém období získat teplotu 6 °C, avšak nelze ji zaručit, natož dlouhodobě. Kromě toho mají tepelná čerpadla alpha innotec z důvodu ochrany zdroje tepla omezenou teplotu na výstupu z pasivního chlazení na minimálně 15 °C. Poměr chladicího výkonu a příkonu stanovíme pro zemní tepelné čerpadlo SWC 102K3 s pasivním chlazením, výkonově shodné jako dříve uvažované SWC 102H3. Příkon pasivního chlazení je dán příkonem regulace a oběhových čerpadel.



Obr. 3 *Graf porovnání chladicích faktorů.*
Hodnoty EER (pro LWD 70A/RX) při A30/W18 a A30/W7.
Hodnota COP (pro SWC 102H3) pro B7/W35 a B18/W35.

PROVOZNÍ NÁKLADY JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ

Z obou uvedených grafů je zřejmé, že úsporu provozních nákladů oproti konvekčním systémům přináší kombinace tepelného čerpadla jak s plošným vytápěním, tak i s plošným chlazením.
Z hlediska provozních nákladů je pak nejvhodnější varianta tepelného čerpadla země/voda s pasivním chlazením v kombinaci s plošným systémem. Tato kombinace dosahuje oproti ostatním variantám chlazení až více než desetinásobné účinnosti.
Provedené porovnání je zjednodušeno pro naznačení efektivity zmiňovaných systémů. Pro reálné porovnávání provozních nákladů komplexního systému vytápění a chlazení nelze stanovit jednoduchý porovnávací koeficient, protože každá budova se při vytápění a obzvláště při chlazení chová jinak. V případě porovnání provozních nákladů je tedy vždy třeba provést studii na konkrétní stavbě.

ZÁVĚR

Zdrojem tepla či chladu může být tepelné čerpadlo vzduch/voda nebo země/voda s plošným kolektorem či s geotermálním vrtem. V případě teplosměnné plochy plošných systémů lze volit mezi chlazením prostřednictvím běžného podlahového vytápění, které často nepokryje celou tepelnou zátěž, a mezi téměř ideálním stropním chlazením v kombinaci s podlahovým vytápěním.
Volba vhodného systému vychází v každém případě z investičních nákladů a požadavků investora. Lze například navrhnout systém vytápění a chlazení s tepelným čerpadlem vzduch/voda v reverzibilním provedení a teplo/chlad předávat pomocí podlahového vytápění. Investičně se bude jednat o velice zajímavou variantu a pocit z vytápění a chlazení bude velmi příjemný, ale nelze očekávat, že vzhledem k nízkým přenosovým vlastnostem podlah bude chladicí plocha dostatečná pro odvedení maximální tepelné zátěže. Zrovna tak lze uvažovat

vysoce komfortní systém v podobě strojovny s tepelným čerpadlem země/voda s aktivním i pasivním chlazením, předávající teplo/chlad přes podlahové a stropní plochy. Podobný systém bude disponovat daleko vyšším chladicím výkonem a zajistí maximální komfort při nízkých provozních nákladech na vytápění a minimálních nákladech na chlazení, ovšem při výrazně vyšších investičních nákladech.

ABB PŘISPÍVÁ K ÚSPORÁM PROVOZNÍCH NÁKLADŮ V HVAC (VĚTRÁNÍ, VYTÁPĚNÍ A KLIMATIZACE)

Ing. Petr Bleha
ABB s. r. o.
Petr.Bleha@cz.abb.com

ANOTACE

V dnešní době se žádná moderní budova, ať residenční, komerční nebo výrobní, neobejde bez efektivního systému větrání, vytápění a klimatizace – tedy systému HVAC (heating, ventilating, air-conditioning). Tento systém je však energeticky velmi náročný – v některých případech může mít „na svědomí“ až 40 % spotřeby energií budovy. Důležitým aspektem je proto zajištění optimální energetické účinnosti, a s tím i související zvyšování úspor energie.

Klíčová slova: klimatizace, větrání, vytápění, HVAC, vzduchotechnika, frekvenční měnič, energetická účinnost, úspory, efektivita HVAC systémů, regulovaný pohon, ABB Pohony

ABB PŘISPÍVÁ K ÚSPORÁM PROVOZNÍCH NÁKLADŮ V HVAC

Výrobky, řešení a služby jednotky ABB Pohony odrážejí nejen její postavení světové jedničky na trhu s regulovanými pohony, ale dokládají také její trvalé zaměření na inovace v dané oblasti. Vedle dodávek komplexních řešení, zajišťuje pro zákazníky také lokální technickou podporu a servis pro frekvenční měniče a elektromotory. V širokém portfoliu jednotky najdete frekvenční měniče a elektromotory od těch nejnižších výkonů až po ty nejvyšší.

Kromě výrobků pro obecné aplikace nabízí také řešení i pro ty specifické, ať již v oblasti HVAC, vodohospodářství, potravinářství a další.

HVAC, jak již v úvodu zaznělo, je zkratka pro systémy zajišťující vytápění, větrání a klimatizaci. Požadovaný stav vzduchu v místnostech pak určují dvě základní hlediska: požadavky osob (v takovém případě hovoříme o komfortním prostředí) a požadavky technologické, zajišťující prostředí nezbytně nutné pro dodržení kvality výroby či chod strojů. V některých oblastech se mohou obě tato hlediska propojit, např. vysoké nároky na kvalitu ovzduší v průmyslových objektech, kde technologie výroby je obsluhována lidmi či velmi vysoké nároky na čistotu prostředí v nemocnicích (operační sály apod.).

Hlavní určující veličiny pro komfortní prostředí jsou teplota, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Zároveň také intenzita větrání, tj. zajištění prostředí bez škodlivin, např. prachu a CO2. Klimatizace pro technologické účely zpravidla upravuje teplotu vzduchu a relativní vlhkost vzduchu, častým požadavkem zde bývá vysoká kvalita čistoty vnitřního vzduchu ve specializovaných provozech, kde jsou požadovány velmi nízké koncentrace i velmi jemných tuhých částic.

LEGISLATIVNÍ RÁMEC SOUČASNÉHO A BUDOUCÍHO VÝVOJE

Provoz budov je vedle dopravy a průmyslu jedním z největších spotřebitelů energie. V technologicky vyspělých zemích se na topení, chlazení a osvětlení obytných i neobytných budov spotřebuje cca 40 % veškeré energie, což je podíl, který vyžaduje velkou pozornost.

Již v roce 2002 byla proto na evropské úrovni vydána Směrnice EP a Rady č. 2002/91/EC o energetické náročnosti budov, jejímž hlavním požadavkem je snížení spotřeby energie v budovách. Pro její implementaci byla zavedena řada evropských norem, např. EN15232

- Energetická náročnost budov. V ČR byla tato směrnice implementována zákonem č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií a Vyhláškou 148/2007 o energetické náročnosti budov.

V roce 2010 pak byla schválena přepracovaná verze výše uvedené směrnice (Směrnice EP a Rady č. 2010/31/EU), která požadavky na energetickou náročnost budov dále zpřísnila. V jejím rámci pak všechny členské státy musely s platností od roku 2013 zajistit, aby nové budovy splňovaly minimální požadavky na energetickou náročnost. Od roku 2019 pak budou muset mít všechny nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci téměř nulovou spotřebu energie. Od roku 2021 se pak tento požadavek bude týkat všech nových budov. V ČR byla zvolena cesta postupného zavádění do praxe, první vlna zpřísnění požadavků byla realizována již v roce 2015.

Od prvního ledna 2016 musí navíc větrací jednotky splňovat zvláštní požadavky na Ecodesign, stanovené nařízením Komise EU č.1253/2014. I zde je plánováno další zpřísnění požadavků, a to od 1. ledna 2018. Cílem tohoto nařízení je minimalizovat vliv zařízení na životní prostředí. Tím, že Ecodesign „nutí“ výrobce vyrábět zařízení s malou spotřebou energie, stal se dalším nástrojem pro zvyšování energetické účinnosti (vedle dalších způsobů, kam patří jak výše zmiňovaná nízká energetická náročnost budov, tak příklad snižování spotřeby primárních energií či využívání obnovitelných zdrojů). Každý výrobce tedy hledá způsoby, jak splnit požadavek energetické účinnosti a možnost využívání frekvenčních měničů je jedním z nich.

ENERGETICKÁ EFEKTIVITA – KLÍČOVÝ FAKTOR HVAC

Důležitou otázkou nicméně je, jak zajistit nejen optimální tepelnou pohodu, ale také maximální efektivitu HVAC systému – a to z hlediska provozních nákladů. Systémy vytápění, větrání a klimatizace (HVAC) nejenže musí fungovat za všech okolností, ale měly by být i energeticky úsporné. Proto v různých typech budov, od mrakodrapů až po nemocnice, školy či datová centra, využívá řada zařízení ventilátory, čerpadla, kompresory pro chlazení a vzduchotechnické jednotky řízené motory s frekvenčními měniči. V systémech vytápění, větrání a klimatizace (HVAC) může již 20 % snížení rychlosti otáček motoru vést ke snížení spotřeby energie až o 50 procent. Pokud pohony nejsou regulované měniči frekvence a regulace je prováděna jiným způsobem (např. škrcení množství vzduchu klapkou u vzduchotechnických zařízení), je velká část energie potřebná k úpravě i distribuci vzduchu neefektivně zmařena. Použitím pohonů regulovaných frekvenčními měniči, kdy se otáčky motoru přizpůsobí aktuálním požadavkům, proto představuje energeticky účinnou alternativu. Využití měničů frekvence má, ale i další výhody. Na rozdíl od přímého připojení motoru na síť, kdy je odebírán po dobu rozběhu 5 až 7násobek jmenovitého proudu, je u měničů situace zcela opačná. Frekvenční měnič pracuje jako téměř dokonalý převodník výkonu. Protože na začátku rozběhu má zátěž nulový příkon, je i odběr ze sítě velmi malý a plynule roste po přímce až k proudu při plné zátěži. Z energetického hlediska má měnič frekvence obvykle vysokou účinnost, kolem 98 %.

FREKVENČNÍ MĚNIČE ACH550 A ACH580

Mezi špičkové frekvenční měniče, nejen na českém trhu, patří měniče ACH550 společnosti ABB, které jsou speciálně určené pro oblast HVAC. Díky mimořádnému technickému řešení splňují požadavky moderních „inteligentních“ budov, vyhovují normě IEC/EN 61000-3-12 stanovující limity harmonických a umožňují snadnou integraci s nadřazeným řídicím systémem. Na všech kontinentech již bylo instalováno více než 100 000 typů těchto měničů.

Od roku 2015 je na trhu k dispozici i vylepšená verze ACH580, která má navíc v základním vybavení STO (Safe torque off) splňující SIL3/Ple, brzdný chopper jako standard do výkonu

22kW, navýšenou provozní teplotu do 50 °C bez omezení výstupního výkonu, nebo ovládací panel s Bluetooth pro nastavení a uvedení do provozu pomocí mobilního zařízení.

Frekvenční měnič ACH580 funguje s každým motorem určeným pro HVAC, včetně asynchronních motorů, motorů s permanentním magnetem a synchronních reluktančních motorů. Lze jej také integrovat do většiny běžných automatizačních systému, komunikuje v jazycích běžných pro oblast HVAC, reguluje motory do výkonu až 250 kW a je připravený k okamžité instalaci (plug-and-play). Zjednodušené menu a ovládací panel určený speciálně pro oblast HVAC umožňuje rychlé a snadné uvedení do provozu. Pro potřeby průmyslu jsou funkce jako zpětnovazební řízení a předehřátí motoru zahrnuty ve standardní výbavě měniče. Měnič je vhodný nejen pro nepřetržitý provoz v kriticky důležitých aplikacích, například v nemocnicích a datových centrech, ale umožňuje udržovat komfortní prostředí, které je nutné pro maximální produktivitu v komerčních budovách, například v kancelářích či školách.

REFERENČNÍ PROJEKTY

Frekvenční měniče ACH550 společnosti ABB byly využity například při modernizaci vzduchotechniky ve stanici Praha – hlavní nádraží. Komfortní prostředí zajišťují i v nemocnici v Hradci Králové, kde jsou instalovány u přívodních a odtahových ventilátorů vzduchotechnických zařízení.

V rámci projektu zaměřeného na realizaci úsporných opatření v Kongresovém centru Praha firmou ENESA a.s. bylo instalováno 67 závěsných frekvenčních měničů ACH550 v rozpětí 1,5 – 45 kW určených pro čerpadla a ventilátory. Kongresové centrum, otevřené v roce 1981, patří mezi nejvýznamnější kongresová centra v Evropě a nabízí více jak 50 sálů, salónků a jednacích místností pro pořádání kongresů až pro 9300 účastníků.

45 měničů o celkovém výkonu 505 kW bylo instalováno pro řízení otáček ventilátorů u vzduchotechnických zařízení. Celková úspora dosažená komplexní dodávkou, čidel teploty, CO2, snímačů tlaku, tedy řízenou distribucí požadovaného množství vzduchu po celém objektu, by bez nově instalovaných měničů nejvyšší třídy nebyla možná. Vyhodnocení úspor za 12 měsíců 04/2016 – 03/2017 bylo **1 934 000 kWh.**

22 měničů o celkovém výkonu 250 kW bylo instalováno pro řízení otáček čerpadel pro dodávky tepla a chladu. I v tomto případě by celková úspora dosažená komplexní dodávkou, bez nově instalovaných měničů nejvyšší třídy nebyla možná. Vyhodnocení úspor za 12 měsíců 04/2016 – 03/2017 bylo **235 000 kWh.**

Úspora elektrické energie chodu čerpadel a ventilátorů byla až druhořadou úsporou. Dominantním faktorem byla celková úspora množství vzduchu a tím úspora tepla a chladu pro jeho úpravu v objektu, která činila, díky novým technologiím a kvalitnímu řízení provozu, úsporu 30 % tepla a chladu z celkových spotřeb objektu.

ZDROJE

[1] Interní materiály společnosti ABB
[2] Interní materiály společnosti Enesa a. s.
[3] Oficiální stránky Kongresové centrum Praha: Dostupné z: <https://www.kcp.cz>.
[4] Směrnice EP a Rady č. 2010/31/EU: Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>.
[5] Směrnice EP a Rady č. 2002/91/EC: Dostupné z: <http://www.eurlex.cz/dokument.aspx?celex=32002L0091>.

INVERTOROVÉ VZDUCHEM CHLAZENÉ CHLADIČE KAPALINY A TEPELNÁ ČERPADLA VZDUCH/ VODA CARRIER 30RBV/30RQV

Ing. Ivan Škop

AHI Carrier CZ spol. s r. o.

ivan.skop@ahi-carrier.cz

ÚVOD

Na jaře letošního roku představila firma Carrier nejnovější generaci AquaSnap – kompaktní chladiče kapalin se vzduchem chlazeným kondenzátorem a tepelná čerpadla typu vzduch - voda pro obytné budovy a malé komerční aplikace s frekvenčně řízeným kompresorem. Nové jednotky nabízejí vysokou energetickou účinnost, propracovaný řídící systém a široké možnosti uplatnění. Jsou vyráběny ve dvou řadách – 30RBV – pouze chlazení a 30RQV – chlazení a tepelné čerpadlo. V současné době jsou k dispozici čtyři výkonové varianty – 17, 21, 26 a 40kW nominálního výkonu (obr. 1).

Obr. 1

Zde invertorová technologie přináší výhodu jak ve zvýšení účinnosti provozu, tak výrazně přispívá k přesnému udržení požadovaných parametrů chlazené či ohřívané vody, a tím ke zvýšení komfortu či přesnosti při technologických procesech. V neposlední řadě zcela omezuje proudovou špičku při startu klasického kompresoru. Přesnost řízení kompresoru je zajištěna IPDU / Inteligent Power Drive Unit/ hybridní invertorovou technologií. Regulace využívá tzv. PWM – šířkovou pulzní modulaci, kdy je při fixním napětí regulována frekvence napájení kompresoru. Vlastní provedení kompresoru je dvojitý, rotační, s přesazením křídel o 180° a DC bezkartáčovým motorem. Toto řešení tak dává předpoklad velmi vyváženého chodu bez vibrací a s nízkým hlukem i při velmi nízkých otáčkách.

Toto je dále předpokladem k velmi širokému provoznímu rozsahu a dlouhodobé spolehlivosti a životnosti. Dvojitý plášť kompresoru funguje jako akustická izolace a snižuje tak emitovaný hluk. Všechny tyto kompresory jsou vybaveny systémem pro předcházení problémů s olejem a mazáním při nízkých okolních teplotách. Když jsme u nízkých okolních teplot, tak provozní limit tepelných čerpadel řady 30RQV je od -20 °C a výstupní topná voda až do 60°C. Režim chlazení je omezen okolní teplotou +46 °C a nejnižší okolní teplotou -10°C. Co se týče chladiva – je použito R410 A označované firmou Carrier jako Puron.

Ale celý systém je vždy tak silný jako je silný jeho nejslabší článek, a tak i zde by pouze kompresor nemohl pracovat optimálně bez dalších kvalitních komponentů okruhu. Expanzní ventil je tudíž v elektronickém provedení, bi-flow konstrukce u tepelných čerpadel a o odvod tepla v režimu chlazení, ev přívod tepla v režimu vytápění se stará ventilátor s plynule měnitelnými otáčkami. Je usazen na pevné konstrukci pro snížení hluku při rozběhu a geometrie ventilátoru snižuje hluk hlavně v nízkofrekvenčním pásmu.

Nový řídicí systém

O chod celého systému se stará kompletně nově vyvinutý řídicí systém. Nové ovládání má ve standartu komunikační protokol MOD Bus – BAC Net či LON Talk je možný jako příslušenství.

Řídicí systém umožňuje řízení celého systému chlazení či vytápění, po doplnění čidla teploty v bojleru lze vytápět zásobník teplé užitkové vody

Ovládat přídavný kotel či přídavné oběhové čerpadlo a provoz solárního ohřevu

Pracovat v režimu Master/Slave, kdy je možné spojit do kaskády až 4 jednotky

Uživatelské rozhraní může pracovat jako prostorový termostat, a tak dávat zpětnou vazbu o teplotě v referenční místnosti či pouze jako uživatelské rozhraní. Toto rozhraní může být vzdáleno až 50 m od jednotky

Je možné zvolit ze tří provozních režimů:

- Provoz je ovládán dálkovými kontakty
- Provoz je ovládán z uživatelského rozhraní
- Provoz je řízen pomocí MOD Bus protokolu

Obr. 2

Integrovaný hydromodul

Tak jako kdysi, kdy firma Carrier přišla s prvními jednotkami s integrovaným hydraulickým modulem, tak i u těchto jednotek je možnost volby mezi třemi provedeními:

- Jednotka bez hydromodulu – pro speciální aplikace či rekonstrukce, kde je strojovna oběhové vody stávající.
- Jednotka s integrovaným hydraulickým modulem a čerpadlem s fixními otáčkami.
- Nebo dle nejnovějšího trendu s čerpadlem s proměnlivým průtokem. Vzhledem k sílícím tlakům na úspory energií jsou některé prvky topných či chladicích okruhů osazovány dvoucestnými regulačními ventily. V tomto případě je možné dosáhnout

výrazných úspor při běhu oběhového čerpadla / až o 2/3 příkonu čerpadla při částečné zátěži/ a v neposlední řadě je zvýšen komfort provozu, protože je eliminován hydraulický hluk, který může vznikat při uzavření části odběrů a ve zbylé části okruhu dojde ke zvýšení rychlosti proudění.

Výsledkem těchto inovačních kroků je splnění Eurovent třídy A pro obě chladicí jednotky a na základě celosezónního topného faktoru obě jednotky splňují energetickou třídu A+.

PŘÍMÉ ADIABATICKÉ ZVLHČOVÁNÍ PRO PRŮMYSLOVÉ A KOMFORTNÍ PROSTŘEDÍ

Ing. Petr Andres

Flair a. s.

andres@flair.cz

I přes rychlý vývoj zařízení pro techniku prostředí zůstává problematika zvlhčování jednou z nejobtížnějších úloh v klimatizační technice. Důvodů je hned několik: energetická náročnost, hygienické hledisko, subjektivní vnímání oblasti komfortu, fyzikální závislost relativní vlhkosti a teploty. Nová řešení (ale i úskalí) přicházejí především s dostupnější technologií úpravy vody, prostředky dezinfekce vody i vzduchu, efektivnější regulací jednotlivých komponentů a úspory energií.

OHLÉDNUTÍ DO DĚJIN ŘÍZENÍ VLHKOSTI

Princip adiabatického ochlazování a tím i zvyšování vlhkosti byl dobře známý již ve starověkých palácových stavbách předního východu i v antické římské architektuře. Využití fontán v atriích prostupovalo celou historií evropského stavitelství od středověku až po baroko a klasicismus. Princip větracích šachet, které využívaly podzemní akumulaci chladu a kontaktní zvlhčování na mokrém povrchu stěn přetrval až do devatenáctého století a byl například využitý i při stavbě pražského Národního muzea.

Cílené zvyšování vlhkosti přichází s průmyslovou revolucí a rozvojem textilního, později i polygrafického průmyslu na počátku dvacátého století. Objevují se systémy mechanického rozprašování vodní mlhy do prostoru a vodních praček do klimatizačních systémů v různých modifikacích – náplňové, sprchové nebo blánové.

Použití těchto systémů ale přinášelo i řadu problémů. Nejvíce potíží způsobovala obtížná regulovatelnost a nízká hygiena provozu, která vyžadovaly náročnou a pravidelnou údržbu. Díky rozvoji elektrotechnického průmyslu a zvyšujícím se nárokům na komfortní klimatizaci především pro zdravotnictví nastává v šedesátých letech rozmach zvlhčování pomocí zdravotně nezávadné páry, která byla použita pro izotermické zvlhčování. Vedle systémů, které především v nemocnicích využívaly centrální výrobníky tlakové páry pro sterilizátory, se objevují lokální vyvíječe páry pro klimatizační zařízení. Prvními výrobci elektrických zvlhčovačů byly švýcarské firmy Defensor a Condair.

Snadná regulovatelnost, hygienická bezpečnost a možnost decentrálního uspořádání elektrických vyvíječů páry přispěly k jejich rostoucí oblibě. Hrozbu hygienických rizik u adiabatických systémů potvrdila tzv. Legionářská nemoc. První dokumentovaný výskyt agresivní bakterie Legionella pneumophila, která způsobila smrtelnou pneumonii několika desítek účastníků srazu veteránů vietnamské války v roce 1976 v americké Filadelfii, pocházel z pračky hotelové klimatizace. Systémy adiabatického zvlhčování se tak pro projektanty i provozovatele klimatizace staly na přelomu tisíciletí noční můrou.

ADIABATICKÝ COME-BACK I NEPRAVDĚPODOBNÝ SOUMRAK PARNÍCH VYVÍJEČŮ

Přes svá úskalí mají adiabatické systémy nezastupitelnou roli v průmyslových aplikacích. Nejrizikovějším místem vodního zvlhčování byly pračky v klimatizačních komorách. Cirkulující voda byla kontaminována proudícím vzduchem, který transportoval mikrobiální zárodky. Při teplotě upraveného vzduchu nad 20 °C se vytvářely ideální podmínky pro růst bakteriálních kultur, které si dokázaly vytvořit mimořádnou rezistenci.

Část problémů při zvlhčování vodou řešily tryskové systémy pro přímou instalaci do prostoru. Systém Condair Airfog, pracující se stlačeným vzduchem podobně jako fixírka, vyloučil riziko kontaminace otevřené nádrže s oběhovou vodou. Samočistící princip trysek s mechanickým pístem umožnil provoz s pitnou vodou běžné tvrdosti a zároveň poměrně spolehlivě zamezoval úkapu zbytkové vody. Nevýhodou systému byla vyšší hlučnost trysek, která omezovala použití na provozy s vyšší akustickým pozadím. Pro prostory náročné na vyšší čistotu (např. elektrotechnika) bylo použití pitné vody problematické pro riziko zvýšené prašnosti prostoru od minerálů obsažených v pitné vodě. Rovněž výroba stlačeného vzduchu představovala poměrně výraznou energetickou i investiční náročnost, systémy byly proto vhodné především v provozech s dostatečnou rezervou na stávajícím zdroji. Typickým příkladem vhodného použití tak dodnes zůstávají polygrafické provozy.

Přes jednoznačnou výhodu jistoty hygienické nezávadnosti představují parní zvlhčovače s elektrickým energeticky vysoce náročné zařízení, kdy spotřeba elektrické energie je dána změnou skupenství vody do plynné fáze. Jednou z alternativ elektrických zařízení jsou plynové vyvíječe, které jsou však rentabilní až pro střední a vyšší výkony.

Konec energetického blahobytu a snaha o úsporu elektrické energie vrátily na počátku 21. století zájem o adiabatické systémy znovu do hry. Svůj podíl sehrála snazší dostupnost nových technologií pro úpravu vody a dokonalejší hygienická opatření.

ADIABATICKÉ ZVLHČOVÁNÍ S HYGIENICKÝM CERTIFIKÁTEM PRO KLIMAJEDNOTKY

Průlomovým produktem pro Hi-Tech adiabatické zvlhčování do klimajednotek či zvlhčovacích komor se stal v polovině devadesátých let nízkotlaký systém Condair Dual. Vysoce účinné rozprašování vody na inertních keramických panelech bez cirkulace v kombinaci s úpravou vody reverzní osmózou a sterilizací stříbrnými ionty splnila požadavky hygienických nároků pro zdravotnictví. Předpokladem spolehlivosti je samozřejmě dostatečně kvalitní filtrace vzduchu na vstupu do zvlhčovací komory. Dokonalou hygieničnost potvrdily certifikáty institutu Fresenius a dalších výzkumných pracovišť. Průběžně inovovaný systém Condair DL představuje i po dvaceti letech nejvyšší úroveň účinnosti a hygieničnosti v adiabatickém zvlhčování do klimatizačních systémů.

Obr. 1 *Adiabatický zvlhčovač Condair DL pro vestavbu do zvlhčovací komory splňuje nejvyšší hygienické nároky, potvrzené certifikátem institutem Fresenius.*

SOUČASNÉ ADIABATICKÉ SYSTÉMY ZVLHČOVÁNÍ DO PROSTORU

Přímé adiabatické zvlhčování do prostoru přináší několik výhod. Pro rozsáhlé průmyslové haly nemusí být intenzita výměny a rovnoměrnost distribuce vzduchu dostatečná pro přenos vlhkosti. Přímé vlhčení umožňuje individuální přizpůsobení lokálním zátěžím a individuálním požadavkům na úpravu relativní vlhkosti. Systémy mohou pracovat nezávisle na chodu větracího systému a udržovat tak stálé parametry vlhkosti bez ohledu na provozní režim. Tato vlastnost je důležitá např. v polygrafickém průmyslu. Systémy přímého zvlhčování navíc při přeměně vodního aerosolu na páru odebírají z prostoru tepelnou zátěž, která je typická pro řadu technologických pracovišť.

Přímé prostorové zvlhčování řeší některá specifika:

- Velké zvlhčovací výkony
- Prostorová variabilita a individuální regulovatelnost
- Hygienická nezávadnost a vyloučení prašnosti
- Nízká hlučnost
- Provozní spolehlivost a nízké nároky na údržbu

Pro velké výkony a rozsáhlé prostorové instalace se nejvíce osvědčily vysokotlaké systémy, které pracují s tlakem vody v rozmezí 70-90 bar. Při těchto parametrech není délka rozvodů zásadně omezena. Otvory trysek, které v koncových elementech vytvářejí prakticky bez hluku jemnou vodní mlhu o velikosti kapek 10-15 μm, mají obvykle průměr o velikosti 100-250 μm s výkony od 1,5 do 6 l/h.

Velikost ústí trysek samozřejmě předznamenává nároky na kvalitu vody. Přirozený obsah minerálů v pitné vodě by způsobil rychlé zanesení trysek a ztrátu funkčnosti systému, proto je zapotřebí zbavit vodu všech částic, které by vytvářely sedimenty.

Měřitelným parametrem čistoty vody je její vodivost, udávaná v jednotkách μS/cm, která je dána obsahem minerálů. Pro dosažení vhodné provozní hodnoty v rozmezí 10-15 μS /cm je nejdostupnější metodou úpravy reverzní osmóza, která pracuje s polopropustnou membránou, schopnou zachycovat minerální částice, které se vyplavují odděleně jako koncentrát. Membrána však může pracovat pouze se změkčenou vodou, která je zbavena nerozpustných minerálů. Proto je nezbytné před člen reverzní osmóza zařadit změkčovač, doplněný o vstupní mechanickou a uhlíkovou filtraci.

Přestože reverzní osmóza produkuje vysoce čistou vodu bez minerálů, je zapotřebí zajistit její hygienickou nezávadnost vhodným desinfekčním opatřením buď stříbrnou ionizací (viz systém Condai Dual, respektive Condair DL) nebo vřazením UV zářiče.

Z uvedeného popisu vyplývá, že kvalitní úprava vody je základem jak pro provozní spolehlivost, tak pro hygienickou bezpečnost přímých adiabatických zvlhčovacích systémů. Bez pravidelné péče se to samozřejmě neobejde.

Dalším komponentem, kterému je třeba věnovat pravidelnou pozornost, je vysokotlaké čerpadlo. Zákonitému opotřebení podléhají pístní kroužky, těsnění nebo ložiska.

SYSTÉM CONDAIR DRAABE – MAXIMÁLNÍ KVALITA V PŘÍMÉM PROSTOROVÉM ZVLHČOVÁNÍ

Adiabatické zvlhčovače Draabe, dodávané pod značkou Condair Systems, řeší komplexně všechny požadavky popsané v předchozí části.

Flexibilita a regulovatelnost

Draabe dodává několik konfigurací hlavic s tryskami pro různé výkony. Hlavice TurboFogNeo ve velikostech 1-8 poskytují zvlhčovací výkony od 4 do 32 kg/h na jednu hlavici. Každá hlavice je vybavená vestavěným ventilátorem pro dokonalé rozptýlení mlhy před jejím odpařením bez kondenzace na okolním povrchu či podlaze. Samostatný solenoid na každé hlavici umožňuje perfektní individuální regulaci celého systému s počtem zón odpovídající počtu hlavic. Kombinovaná čidla teploty a vlhkosti z každé zóny umožňují centrální vyhodnocování parametrů, včetně ukládání provozních stavů a historie chybových hlášení. Samozřejmostí je dálkový přenos dat přes bluetooth.

Průlomovým komponentem v sortimentu Draabe je hlavice NanoFog s výkonem 1,5 kg/h (NanoFog Sens) nebo 3 kg/h (NanoFog Evolution). Individuální regulovatelnost hlavic, nadčasový design a extrémně nízká hlučnost umožňují použití těchto hlavic i komfortním prostředí při splnění nejvyšších hygienických nároků.

Obr. 2 *Zvlhčovací hlavice Draabe TurboFogNeo 8 s výkonem 32 kg/h pro rozměrné průmyslové prostory*

Obr. 3 *Zvlhčovací hlavice Draabe NanoFog Sens je svým provedením určená i pro individuální zvlhčování komfortních prostředí.*

DRAABE - PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST NA VŽDY

Z předchozího popisu vyplývá, že předpokladem trvalé provozní spolehlivosti a hygienické nezávadnosti adiabatických zvlhčovacích systémů je kvalifikovaná a pravidelná údržba klíčových komponentů, kterými jsou vysokotlaké čerpadlo a jednotka reverzní osmózy.

Po dlouholetých zkušenostech vyřešil Draabe trvalé zajištění kvality systémem pronájmu výměnných kontejnerů s vysokotlakým čerpadlem (Draabe HighPur) a reverzní osmózou s UV desinfekcí (Draabe PerPur). Zákazník obdrží každých šest měsíců repasované kontejnery, které projdou továrním servisem. Rovněž v případě poruchy dorazí k uživateli do 24 hodin náhradní kontejnery. Provozní spolehlivost je tak garantována po celou životnost systému.

Obr. 4 *Kontejnery Draabe PerPur a Draabe HighPur zajišťují trvalou provozní a hygienickou spolehlivost po celou dobu životnosti přímého adiabatického zvlhčovacího systému*

JANKA ENGINEERING, S. R. O. - VÝZNAMNÝ KROK KE KVALITĚ

OVĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ OPLÁŠTĚNÍ JEDNOTEK KLMOD

TÜV SÜD

V důsledku globalizace trhu a cenovému tlaku se v posledních letech na trhu vzduchotechnických jednotek objevují i zařízení, která svou kvalitou a provedením často neodpovídají deklarovaným technickým parametrům. V souvislosti s tím vzrůstá zejména na západních trzích nekompromisní uplatňování celé řady předpisů a opatření, s cílem donutit výrobce dodržovat deklarované vlastnosti nabízených výrobků. Samotné prohlášení výrobců anebo technické listy nejsou považovány za relevantní a čím dál častěji je vyžadováno potvrzení technických vlastností nezávislým měřením autorizované osoby. Výrobci, kteří tato opatření akceptují a splňují, se sdružují v různé cechy a sdružení s cílem ochránit svou pozici na lokálním trhu. Tato sdružení pak velmi silně působí na investory, legislativní orgány i odborné projektanty, kteří následně ve svých zadávací podmínkách staveb odkazují na nutnost dodržování dohodnutých opatření. V souvislosti se svou expanzí na německý trh v roce 2014 se také společnost JANKA ENGINEERING, s.r.o. stala členem sdružení výrobců vzduchotechnických zařízení pod zkratkou RLT. Jako člen na sebe převzala i povinnosti vyplývající ze stanov sdružení. Jednou ze stěžejních povinností je i závazek všech členů RLT do 31.10.2017 deklarovat měření vlastností svých výrobků a zároveň certifikovat svůj výrobní proces nezávislým stanoveným orgánem. Pokud by jakýkoli člen této povinnosti nedostál, byl by ze sdružení RLT vyloučen. Ve většině německých projektů by tak nesplnil základní podmínku pro účast ve výběrovém řízení. Protože si společnost JANKA ENGINEERING, s.r.o. již tradičně zakládá na kvalitě svých výrobků, vedení společnosti podpořilo spuštění procesu testování a certifikace jednotek KLMOD.

Kompletní proces certifikace byl zajištěn mezinárodně uznávanou autoritou v této oblasti, inspekčním orgánem TÜV SÜD při technické univerzitě v Mnichově. Tato instituce zajišťuje kompletní proces certifikace nejen dle požadavků německého RLT, ale i dle požadavků EUROVENT. Vzhledem k absenci jednotných mezinárodních norem a rozdílným standardům v jednotlivých státech, je tato certifikace obecně uznávanou zárukou, která dokládá splnění požadavků na užitné vlastnosti a na bezpečnost výrobků na základě mezinárodně akceptovaných kritérií. Průkaznost shody výrobku dle příslušných kritérií je spojeno s povolením využívat zjevné logo známky kvality, která zvyšuje prestiž a dobré jméno společnosti.

OD ŽÁDOSTI O CERTIFIKACI PO ZÍSKÁNÍ CERTIFIKÁTU

Prestiž získané certifikace odpovídá náročnosti a dlouhé cestě k jejímu získání. Žádost o certifikaci u TÜV SÜD podala JANKA ENGINEERING, s.r.o. již v lednu roku 2016. V porovnání s ostatní konkurencí byla JANKA ENGINEERING, s.r.o. mezi prvními, kdo si uvědomil nutnost získání certifikátu a včasným zažádáním se vyhnula situaci, ve které se nyní někteří výrobci, kteří na certifikaci stále čekají, nacházejí. JANKA ENGINEERING, s. r. o. i proto dokázala tento certifikát získat 14.3.2017.

Proces testování s výslednou certifikací sestává z těchto kroků:

Měření mechanických vlastností

Toto měření vyhodnocuje dílčí mechanické parametry jednotek. Konkrétně je hodnocena mechanická odolnost komory, těsnost komory, prostupnost uložení filtrů, tepelná prostupnost, tepelné mosty a útlum komory.

Na základě důkladného měření v akreditovaných laboratořích TÜV SÜD byly u jednotky KLMOD ověřeny následující vlastnosti:

D1 Mechanická stabilita
TB2 Faktor tepelných mostů
L1(M) Netěsnost opláštění
T1 Tepelná izolace
F9 Netěsnost filtrační stěny

Certifikace výrobního procesu

Dalším krokem k získání certifikace je výrobní audit, který inspekční orgán TÜV SÜD provádí přímo u výrobce. Tento audit JANKA ENGINEERING, s. r. o. absolvovala ve svém výrobním závodě v Radotíně 28. 2. 2017.

Výsledkem bylo získání certifikátu dle norem RLT s výše uvedenými hodnotami. Tato certifikace je pro Janku velice důležitým krokem, protože je pro vizitkou společnosti JANKA ENGINEERING, s.r.o. a důkazem, že její zaměření na kvalitu je vodítkem ke zvýšení konkurenceschopnosti a cestou k úspěchu i v náročném konkurenčním prostředí západních trhů. Především je ale také poselstvím zákazníkům, že JANKA ENGINEERING, s. r. o. stále poskytuje kvalitní a bezpečné produkty v souladu s náročnými mezinárodně uznávanými

předpisy, které jsou na exportované výrobky aplikovány. JANKA ENGINEERING, s. r. o. i tentokrát dokázala svému závazku vyrábět kvalitní zařízení bez kompromisů.

ZERTIFIKAT ◆ CERTIFICATE ◆ 認証証書 ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT

TÜV SÜD
Industrie Service

Hiermit wird der Firma

Janka Engineering s.r.o
in
CZ-153 00 Praha

aufgrund einer positiv abgeschlossenen Prüfung
der Musterbox
mit der Typbezeichnung

„KLMOD“

nach der Norm
DIN EN 1886 (07/2009)

das Recht erteilt, diese mit dem nachstehenden
TÜV SÜD-Prüfzeichen zu kennzeichnen.

TÜV SÜD
DIN EN 1886

Das Zertifikat ist gültig bis einschließlich 31.03.2023

Zertifikat-Registrier-Nr.: 17-21-67

Zertifizierungsstelle für Produkte
Kälte- und Klimatechnik
München, den 14.03.2017

TÜV SÜD Industrie Service GmbH

TÜV SÜD INDUSTRIE SERVICE GMBH, WESTENDSTRASSE 199, D-80686 MÜNCHEN
certification-TAK@tuev-sued.de

TÜV®

OPTIMALIZACE FILTRACE, SNIŽOVÁNÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ

Jan Berger, Petr Hrubý

KS Klima-Service, a. s.
jan.berger@ksklimaservice.cz, petr.hruby@ksklimaservice.cz

ÚVOD

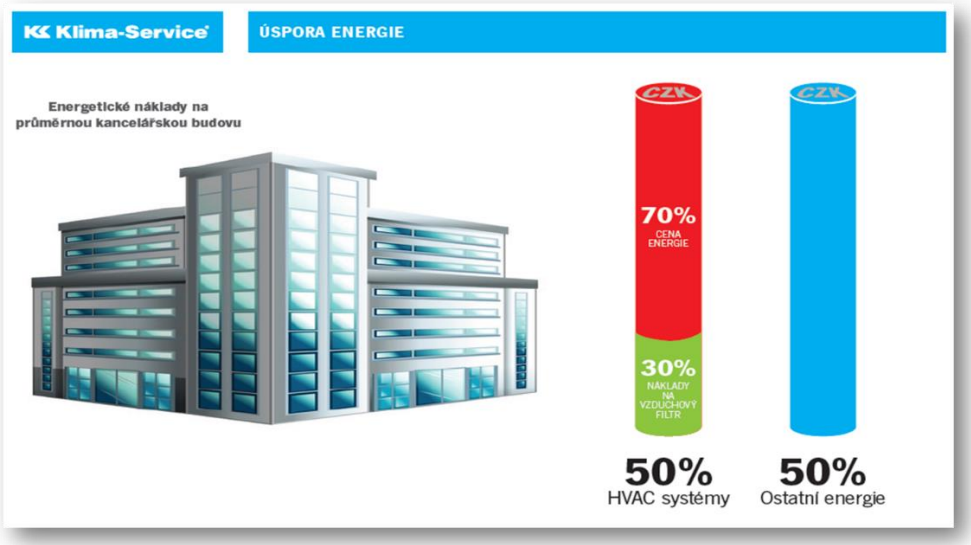
Snižování provozních nákladů, často opakovaný požadavek majitelů, provozovatelů, všech, kteří přemýšlí, jak ušetřit. Nedílnou součástí provozních nákladů jsou i filtry a filtrační zařízení. Filtry lze navrhnout a vyrábět mnoha způsoby, avšak některé filtry dokážou výrazně snížit provozní náklady při použití nových inovativních materiálů a správné aplikace v jednotlivých zařízeních.

NÁKLADY ŽIVOTNÍHO CYKLU FILTRU

Primárním ukazatelem životního cyklu filtru je obvykle cena. Ta však tvoří v celkových provozních nákladech podíl jen 15%. (obr. č. 1). Náklady výrazně navyšuje několik faktorů, které jsou ovlivněny kvalitou použitého materiálu při výrobě filtru a optimalizovanou konstrukcí a těsností filtru.

Náklady životního cyklu:

- Nákupní cena filtru
- Spotřeba energie
- Servisní náklady na výměnu filtrů – počet servisních výměn
- Náklady na ekologickou likvidaci – množství spotřebovaných filtrů
- Počet odstávek provozu
- Účinnost filtrace – ovlivňuje pracovní prostředí filtrovaného provozu



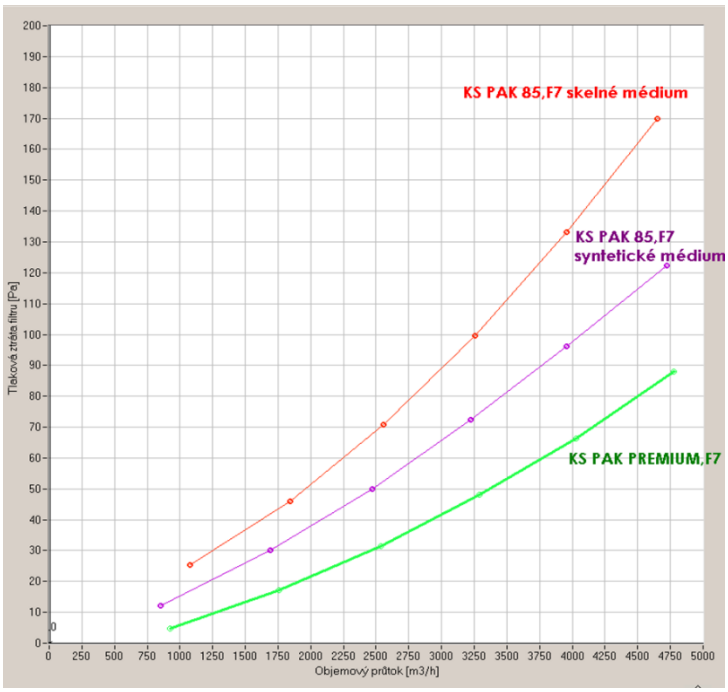
Obr. 1 *Energetické náklady na průměrnou kancelářskou budovu*

KS PAK PREMIUM

KS PAK PREMIUM je nový filtr vyrobený z nového vícevrstvého filtračního média, které svým uspořádáním umožňuje až dvounásobnou jímavost proti běžně používaným syntetickým filtračním médiím. Speciální konstrukce média zvyšuje filtrační plochu filtru až 2,4 krát.

Pro příklad kapsového filtru ve filtrační třídě F7 592x592x635mm / 8 kapes je standardní filtrační plocha filtru přibližně 6,2 m^2, u filtru KS PAK PREMIUM s použitím nového filtračního média je plocha filtru přibližně 14,8 m^2.

Obr. 2 *KS PAK PREMIUM F7 592x592x635mm / 8 kapes*



Obr. 3 *KS PAK PREMIUM – porovnání počáteční tlakové ztráty různých filtr. médií*
KS PAK PREMIUM – počáteční tlaková ztráta ***55 Pa***
KS PAK 85, F7 – syntetické médium – počáteční tlaková ztráta – 77 Pa
KS PAK 85, F7 – skelné médium – počáteční tlaková ztráta – 109 Pa

Použitím KS PAK PREMIUM dojde k zásadní úspoře na nákladech životního cyklu filtru. Zejména pak na těchto ukazatelích:

- Nespotřebování elektrické energie vlivem nízké energetické náročnosti
- Nižší náklady na výměny filtrů díky dlouhé životnosti
- Menší množství použitých filtrů
- Snížení množství odpadu
- Méně odstávek v provozu
- Zvýšení účinnosti instalovaných prvků vzduchotechnického systému
- Prodloužení životnosti následujících stupňů filtrace EPA, HEPA, ULPA
- Snížení četnosti čištění vzduchotechnického systému
- Používání filtrů s nízkou energetickou náročností, malou počáteční tlakovou ztrátou.
- Výběr filtrů s optimalizovanou konstrukcí a těsností

ENERGETICKÉ ÚČINNOSTI KAPSOVÝCH FILTRŮ:

KS PAK 85, F7 (syntetické médium)	**KS PAK PREMIUM F7**
Cena – 3,70,-Kč/kWh	Cena – 3,70,-Kč/kWh
Spotřeba – 1.303 kWh/rok	Spotřeba – 928 kWh/rok
Náklady – 4.821,-Kč/rok	Náklady – 3.434,-Kč/rok
Energetická třída C	Energetická třída A

Roční úspora za 1 filtr – 1.387,-Kč

Roční úspora za 100 filtrů – 138.700,-Kč

MOŽNOSTI APLIKACE PREMIOVÝCH KAPSOVÝCH FILTRŮ

Nový kapsový filtr KS PAK PREMIUM (obr. č. 2) je speciálně vyvinut pro záchyt jemného prachu a aerosolů na přívodech vzduchu do kancelářských budov, obchodních center, průmyslových hal, lakovacích linek a používá se také jako předfiltr VZT jednotek pro zdravotnictví, čisté prostory a farmacii. Filtry KS PAK PREMIUM jsou ideální pro nasazení tam, kde jsou vyžadovány vysoké průtoky a současně dlouhá životnost s vynikající odlučivostí ve třídách filtrace M6 – F9 (dle EN 779). Unikátní konstrukce filtru umožňuje výrazně snížit počáteční tlakové ztráty a filtr má tímto velmi nízké energetické náklady při plném zatížení. Filtr ve všech parametrech odpovídá požadavkům EN779:2012, ISO16890 a VDI6022.

Dalšími typickými oblastmi nasazení, kde lze aplikovat kapsové filtry KS PAK PREMIUM jsou např. elektronický průmysl, chemický průmysl, letiště, hotely, restaurace, muzea, knihovny, nemocnice, mikroelektronický průmysl a další průmyslové obory.

ZÁVĚR

Společnost KS Klima-Service a. s. neustále pracuje na nových produktech a filtračních technologiích, které koncovému spotřebiteli přinesou příjemné a čisté prostředí a ochranu zdraví. Trendem a současným fenoménem ve všech oborech, a to nejen ve vzduchotechnice, je zásadní snižování energetických nákladů. Kapsové filtry KS PAK PREMIUM jsou špičkovým produktem, které také tento požadavek jednoznačně splňují.

LITERATURA

[1] Čerpáno z výsledků vývojového střediska a zkušební laboratoře KS Klima-Service, a. s.
[2] Produktové katalogy KS Klima-Service, a. s.

PĚT KLÍČOVÝCH TECHNOLOGIÍ NOVÉHO LG ELECTRONICS VRF SYSTÉMU MULTI V 5

Karel Dufek

LG Electronics Polska Sp. Z o.o., Czech branch
karel.dufek@lge.com

ABSTRAKT

Níže uvedený text se zaobírá novinkami v použitých technologiích, které mají být nejdůležitějším rozhodovacím faktorem pro realizaci VRF systému výrobce LG Electronics. Bolo vybraných pět nejdůležitějších, které zvyšují účinnost provozu těchto zařízení a tím snižují jejich provozní náklady. Všechny údaje byly čerpány z nezávislého měření uskutečněného v rámci certifikace EUROVENT.

1. ÚVOD

Pátá generace VRF systémů firmy LG Electronics Multi V 5 navazuje na velmi úspěšnou čtvrtou generaci s označením Multi V IV, která se v minulých několika letech stala jednou z nejúspěšnějších a nejprodávanějších klimatizačních zařízení na českém i celoevropském trhu. Několikaletá práce vývojářů a technologů přinesla po dvou letech testování svoje ovoce v zařízení, jehož parametry dávají tušit, jaké velké možnosti použití toto zařízení poskytuje. V následujících několika odstavcích budou vyzdvihnuty některé technologické inovace vedoucí ke zvýšení účinnosti a zároveň k vysokému uživatelskému komfortu.

2. PĚT KLÍČOVÝCH TECHNOLOGIÍ MULTI V 5

První je "Provoz zařízení na základě sledování teploty a vlhkosti vnitřního i venkovního prostředí". Tato možnost zvyšuje účinnost zařízení nejen v režimu chlazení, ale hlavně v režimu topení.

Druhou je "Nový inverterový kompresor 5. generace", kterého malé rozměry a velký rozsah výkonu umožňuje vysokou účinnost aj při malém zatížení.

Třetí je "Vysoký výkon jednoblokového zařízení s použitím bionické technologie u ventilátorů". Tady bylo hlavním záměrem zmenšení rozměru zařízení a z toho plynoucí úspora plochy pro osazení zařízení.

Čtvrtá je "Ocean Black Fin - nová antikorozní úprava výměníku". Kvalitní ochrana lamel výměníku dokáže prodloužit životnost zařízení několikanásobně.

Pátá je "2 v 1 - kondenzační jednotka pro použití jako tepelné čerpadlo nebo jako systém se zpětným získáváním tepla". Za jednu cenu se můžete rozhodnout, jestli použijete dvou nebo tří trubkový systém.

2.1 Provoz zařízení na základě sledovaní teploty a vlhkosti vnitřního a venkovního prostředí

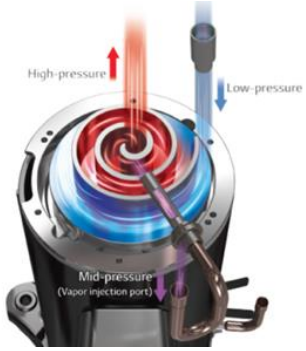
Abychom dosáhli vysoké účinnosti zařízení a zároveň dosáhli optimálních tepelně vlhkostních poměrů v klimatizovaných místnostech, bylo nutné doplnit už instalované snímače teploty o snímače vlhkosti. Kondenzační jednotky jsou dodávané s už instalovaným, vnitřní jednotky je nutné doplnit o kabelový ovládač nové generace, kterého tento snímač je součástí. Kooperace těchto snímačů nám umožní řídit teplotu chladícího

média venkovní jednotky a zvýšit energetickou účinnost až o 31 procent. Toto je v zásadním kontrastu s typickými VRF, které neefektivně kolísají, aby udrželi nastavenou vnitřní teplotu.

Obr. 1 *Nový dotykový ovládač PREMTB100* ***Obr. 2*** *Umístění snímače vlhkosti na Multi V 5*

2.2 Nový inverterový kompresor 5. generace

Nový kompresor Ultimate Inverter společnosti LG MULTI V 5 je kompresorem 5. generace společnosti LG a představuje vážné kroky, které společnost podnikla při zlepšování všech aspektů výkonu komponentů. Nabízí bezkonkurenční účinnost, spolehlivost a odolnost, kompresor Ultimate Inverter rozšiřuje provozní rozsah na 10 Hz až 165 Hz. Tento zvýšený rozsah zvyšuje účinnost při částečném zatížení a zlepšuje výkon vytápění. Vylepšený systém ložisek MULTI V 5 je vynikajícím příkladem tohoto principu v praxi. Ložiska z vrstveného PEEK (Polyetheretherketone) - pokročilý materiál běžně používaný v letadlových motorech, účinná ložisková infrastruktura umožňuje pracovat po dlouhou dobu bez oleje. Moderní technologie Vapor Injection společnosti LG využívá pokročilý dvojstupňový kompresní přístup k účinnému vytápění v extrémně chladném prostředí. Pracuje ve spojení s Hipor ™ a zvyšuje tak integrovanou energetickou účinnost a efektivitu vytápění. Jednotky vybavené Hipor ™ zaznamenávají výrazný nárůst koeficientu výkonnosti (COP), a to až o 33% oproti modelům Non-Hipor ™. Měření hladiny oleje v kompresoru v reálném čase snižuje ztráty energie a zajišťuje trvalé vytápění pro vnitřní prostředí. Díky systému Smart Oil Return se doba provozu vytápění za den zvyšuje až o 12% oproti modelům bez olejových snímačů.



Obr. 3 *LG Vapor Injection* ***Obr. 4*** *Společná funkce LG Vapor Injection + Hipor*

2.3 Vysoký výkon jednoblokového zařízení s použitím bionické technologie u ventilátorů

Nemělo by ani trochu překvapit, že společnost LG, která integruje jedinečné aspekty biologie velryb do lopatek ventilátorů, už poukázala hmatatelné přínosy, což dokazuje životaschopnost biomimetického výzkumu. Přidání biomimetických hrdel do lopatek ventilátoru pomáhá LG MULTI V 5 pracovat účinněji než konvenční ventilátory, čímž dramaticky zvyšuje cirkulaci a proudění vzduchu. Průtok vzduchu se také zlepšil o 10 % v porovnání s konvenčními modely a zároveň poskytl 20 % snížení spotřeby energie. Společnost LG se spojila s výzkumným týmem z oddělení strojírenského a leteckého inženýrství v Soule National University, aby bez problémů integrovala ventilátor inspirovaný ploutvemi do ultramoderní komerční klimatizace. Inovativní biomimetický ventilátor MULTI V 5 kombinovaný s pokročilým 4-stranným tepelným výměníkem a vylepšeným kompresorem, který zvyšuje účinnost a kapacitu klimatizačního zařízení. Tato vylepšení dokonce umožňují, aby jedna venkovní jednotka dosáhla 26 HP.

LARGE CAPACITY

Obr. 5 *Tvar lopatek ventilátoru*

Obr. 6 *Nový 4-stranný výměník*

2.4 Ocean Black Fin - nová antikorozní úprava výměníku

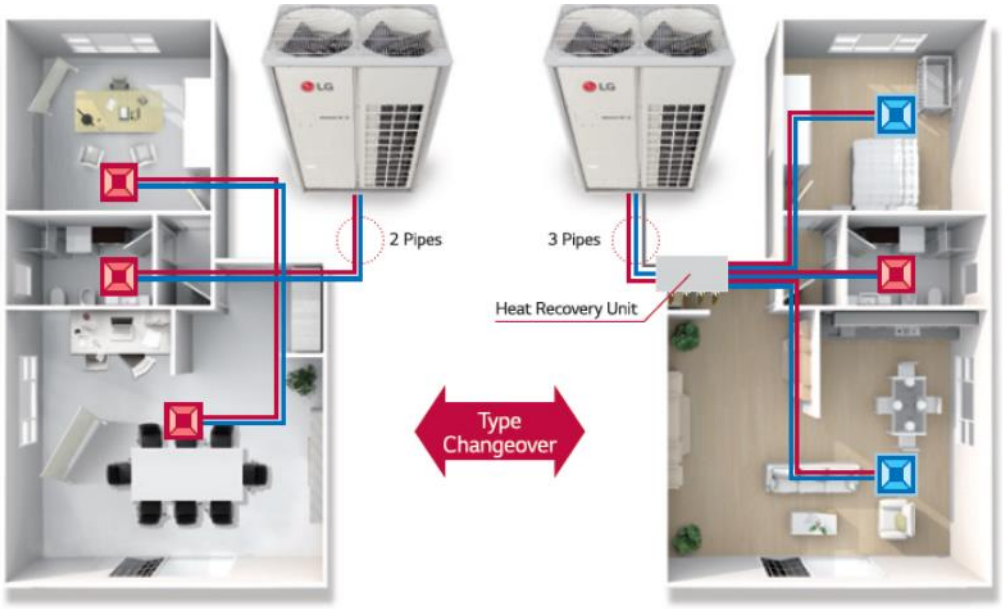
Ocean Black Fin

Tato nová antikorozní úprava přináší prodlouženou životnost výměníku tepla kondenzační jednotky. Problémem není ani vysoce korozívní nebo vlhké prostředí. Tyto vlastnosti byly prokázány certifikační agenturou. Tato úprava byla testovaná po dobu 1500 hodin 5% roztokem NaCl, kde prokázala až 3 krát vyšší odolnost než předcházející antikorozní úprava Gold Fin. Dalším testem je 900 hodin působení 20% roztoku HCl i tady nová úprava prokázala až 9 krát vyšší odolnost proti Gold Fin.

Obr. 7 *Složení lamely výměníku*

2.5 2 v 1 - kondenzační jednotka pro použití jako tepelné čerpadlo nebo jako systém se zpětným získáváním tepla

MULTI V 5 to je řešení HVAC s integrovaným systémem, který nabízí technologii tepelné čerpadlo a zároveň systém se zpětným získáváním tepla. I když byl v budově už dříve nainstalovaný systém tepelného čerpadla, uživatel ho může nahradit systémem se zpětným získáváním tepla a tým využít zbytkového tepla pro ohřev teplé vody. Tento systém nabízí za jednu cenu dvě zařízení.



Obr. 8 *Instalace vlevo tepelné čerpadlo, instalace vpravo zpětné získávání tepla*

3. ZÁVĚR

V roce 2017 nakonec přišel čas pro skvělý systém VRF MULTI V 5. Tato generace velmi zdokonalila svůj technologický potenciál se stále výkonným, spolehlivým a zároveň hospodárným kompresorem LG Ultimate Inverter, Ocean Black Fin s nejvyšší odolností proti korozi a technologií biomimetiky, zvětšených ventilátorů. Dual Sensing Control zároveň poskytuje uživateli nejpříjemnější prostředí a zároveň minimalizuje zbytečné ztráty energie technologií, která snímá teplotu a vlhkost, aby efektivně řídil provozu chlazení nebo topení i při částečném zatížení.

S modelem MULTI V 5, který byl navržený výhradně pro maximální účinnost, výkon, flexibilitu, komfort a kontrolu, jsme si velmi jistí, že přinášíme dokonalou technologii.

LITERATURA:

[1] Technická a marketingová literatura výrobce LG Electronics

ZPŮSOB ŘEŠENÍ VĚTRÁNÍ CHRÁNĚNÝCH ÚNIKOVÝCH CEST

TROX Austria GmbH
trox@trox.cz, kvido@klima-snadno.cz

ANOTACE
Článek informuje o způsobu řešení větrání chráněných únikových cest (CHÚC) pomocí zařízení pracujícího na principu rozdílu tlaků, tzn. např. formou přetlakového větrání, dle ČSN EN 12101-6.
Přibližuje výčet nezbytných kritérií, která je nutné splnit pro správnou funkci větrání chráněných únikových cest.
Reaguje tak na stále přetrvávající zaměňování pojmů „přetlakové větrání“ a „nucené větrání s předepsanými výměnami vzduchu“, za které je obvykle zaměňováno.

ÚVOD
Současná doba se vyznačuje rychlým tempem ve vývoji vědy a techniky, kterého následkem jsou nové výrobky, vyrobené novými technologiemi a z nových materiálů. Tato skutečnost má za následek nové přístupy k jejich užívání a také k jejich plánované bezpečné likvidaci. *„Nové přístupy“* znamenají nové předpisy a normy, které jsou dnes vytvářeny a přijímány stejně rychlým tempem jakým je vývoj vědy a techniky. Nové právní předpisy řeší také jejich neplánovanou a nebezpečnou likvidaci, jakou je požár. Protože ze statistik požárů vyplývá, že v současnosti více než polovina úmrtí při požárech je způsobená právě toxickými látkami vznikajícími při nedokonalém spalování, bylo potřeba úplně změnit způsob ochrany lidí v době úniku a požárního zásahu. Dimenzovat chráněnou únikovou cestu pouze na přípustné koncentrace oxidu uhelnatého již neodpovídá realitě. Další jedovaté zplodiny hoření jako je kyanovodík, formaldehyd, halogenvodíky, oxidy dusíku a jiné působí tak, že svým účinkem již při malých koncentracích ztěžují únik z ohroženého prostoru. Z tohoto důvodu se norma ČSN EN 12101-6 pro větrání chráněných únikových cest nezabývá ředěním kouře, ale stanovuje kritéria pro udržení chráněných únikových cest zcela bez kouře. Tato kritéria neřeší absolutně všechny stavy, které mohou v době požáru nastat, ale řeší nejobvyklejší stavy při požárním zásahu a evakuaci lidí z různých typů budov posuzovaných či už z hlediska způsobu užívání, nebo dispozičního řešení.

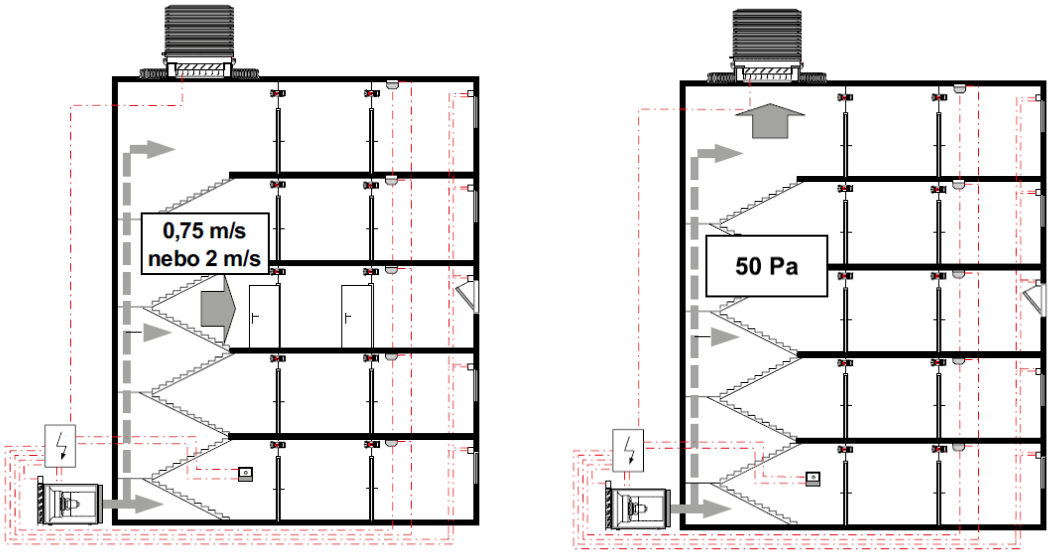
KRITÉRIA PRO UDRŽENÍ CHRÁNĚNÝCH ÚNIKOVÝCH CEST BEZ KOUŘE A UMOŽNĚNÍ ÚNIKU
Kritérium síly potřebné pro otevření dveří
Zařízení musí být navrženo tak, že síla působící na kliku dveří, při spuštěném zařízení, nesmí překročit 100 N. Je potřeba ji stanovit ve spolupráci s architektem tak, aby bylo reálné dodržet kritérium pro minimální přetlak při všech dveřích zavřených. Dohoda mezi projektantem stavby, požárně bezpečnostního řešení a VZT musí spočívat v tom, že pro chráněnou únikovou cestu budou použity komponenty, které jsou pro CHÚC nezbytné, např. dveře se samozavírači, jejichž otevírací momenty splňují normu ČSN EN 1154. Toto kritérium bylo stanoveno tak, aby dveře do chráněné únikové cesty otevřeli všichni i ženy, děti, handicapované osoby nebo starší lidé. Z bilance sil působících na dveře je možno spočítat maximální hodnotu přetlaku, který je možné v chráněné únikové cestě vytvořit.
Kritérium 50 Pa pro rozdíl tlaků při všech dveřích zavřených
Rozdíl tlaků mezi schodištěm se zvýšeným tlakem a prostorem bez zvýšeného tlaku nesmí být menší než **50 Pa ± 10 %** při všech zavřených dveřích a otevřeném otvoru pro únik vzduchu z podlaží, kde je přetlak zrovna měřen. Tolerance ± 10 % je určena pro nepřesnost měření při přejímacích zkouškách. Rozdíl tlaků 50 Pa se musí změřit přes každé dveře oddělující

prostory se zvýšeným tlakem a bez zvýšeného tlaku. Toto kritérium platí pro všechny třídy zařízení A, B, C, D, E a F definované v ČSN EN 12 101-6. Kritérium pro rozdíl tlaků 50 Pa ovlivňuje sílu potřebnou pro otevření dveří 100 N, a proto je potřeba, aby tato dvě kritéria byla ve vzájemném souladu. Z výpočtu tlakové ztráty schodišťové šachty se určí reálné hodnoty dosažených přetlaků na úrovni jednotlivých podlaží objektu. Nejvyšší dosažená hodnota přetlaku v CHÚC musí být menší, než vypočítaná hodnota povoleného přetlaku vycházející z kritéria síly pro otevření dveří 100 N. Z této hodnoty síly se vychází při určení velikosti přetlaku, při kterém tlak regulující klapka otvírá a zavírá. V případě, že rozdíl maximálního a minimálního přetlaku je větší, než hodnota povolené tolerance ± 10 % musí být posíleny úniky na jednotlivých patrech přetlakovými ventily. Tyto dodatečné úniky s nastavitelným množstvím vzduchu jsou následně započítány do celkové hodnoty úniku vzduchu netěsnostmi. Viz. obr. 1.

Kritérium pro průtok vzduchu

Toto kritérium není stejné pro únikové a zásahové cesty. Pro únikové cesty je stanovena rychlost průtoku vzduchu dveřním otvorem min. 0,75 m/s a pro zásahové cesty min. 2,0 m/s. Potřebná rychlost vzduchu závisí na rozdílu teplot v otevřených dveřích do užitného prostoru s požárem.

Na obr. 1 uveden příklad návrhových podmínek pro zařízení třídy C.



Obr. 1 *Kritérium rychlosti a tlaku v chráněné únikové cestě*

Kritérium 10 Pa pro rozdíl tlaků při určených dveřích otevřených

Norma ČSN EN 12 101-6 definuje pro jednotlivá zařízení třídy A až F jako další stav kritérium 10Pa rozdílu tlaku při určitém počtu otevřených dveří. Pak platí, že rozdíl tlaků mezi schodištěm se zvýšeným tlakem a prostorem bez zvýšeného tlaku nesmí být menší než 10 Pa ± 10 % při určených otevřených dveřích. Tolerance ± 10 % je opět určena pro nepřesnost měření při přejímacích zkouškách. Rozdíl tlaků 10 Pa se musí změřit opět přes dveře oddělující prostory se zvýšeným tlakem a bez zvýšeného tlaku. Názorné příklady jsou uvedeny v [1].

Kritérium rychlosti reakce zařízení

Prvním kritériem rychlosti reakce systému zařízení pro přetlakové větrání CHÚC je doba aktivace zařízení. Zařízení musí být uvedeno do činnosti automaticky kouřovými hlásiči EPS do 60 sekund od zjištění kouře. Toto kritérium nejsou schopny splnit ventilátory s regulací množství přiváděného vzduchu, ani uzavírací klapky otevírané běžnými servopohony! Ventilátory musí být konstrukčně upravené, aby byly schopny pracovat při náhlých změnách tlaku. Jejich motory, by neměly mít zabudovanou tepelnou ochranu, která v době požáru nesmí ventilátor vyřadit z provozu. Ventilátory by měly být chráněny pouze nadproudovou ochranou v případě jejich chodu v době pravidelných revizí. Těsné uzavírací klapky je potřeba otvírat pružinovými pohony.

Současně je požadavek na rychlost reakce i na tlak regulující klapky, které musí reagovat na otevření nebo zavření dveří tak, aby bylo dosaženo přes 90 % nového přívodu vzduchu do 3 sekund. Tato kritéria nelze splnit běžnými prvky měření a regulace, protože reakce servopohonů a regulace otáček ventilátorů je tak pomalá, že by se celý systém dostal do nerovnovážného stavu a nebyl by schopen vůbec zajistit kritéria požadované normou ČSN EN 12101-6. Pro správnou funkci zařízení pracujícího na principu rozdílu tlaků je potřeba zajistit, aby se celý systém ustálil do 3 sekund.

ZAŘÍZENÍ PRO REGULACI ROZDÍLU TLAKŮ, KTERÁ SPLŇUJÍ VŠECHNY KRITÉRIA POŽADOVANÉ EVROPSKOU NORMOU ČSN EN 12101-6

Firma TROX Austria GmbH je na českém a slovenském trhu výhradním zastoupením výrobků firmy Alfred EICHELBERGER GmbH & Co. KG, které lze použít pro tvorbu kompletních systémů pro větrání chráněných únikových cest regulací rozdílu tlaků.

Přívodní zařízení a kompletní přívodní zařízení s tlak regulující klapkou

- Axiální ventilátor s plynule nastavitelnými lopatkami a pevnými statorovými lopatkami
- Stabilizátor charakteristiky zajišťuje správnou funkci ventilátoru při náhlých změnách tlaku, při sériovém či paralelním provozu – patentově chráněno
- Ventilátor pružně uložen ve skříni dvouplášťové konstrukce s nehořlavou izolací
- Integrovaná izolovaná, těsná žaluziová klapka s pružinovým pohonem
- Na vyžádání je možno dodat venkovní provedení
- Zařízení RDA2 má tlak regulující klapku zařazenou ve skříni ventilátoru tak, že přebytečný vzduch cirkuluje uvnitř zařízení v obtoku

Obr. 2 *Přívodní zařízení RDS a RDA2*

Kompletní odvodní zařízení s tlak regulující klapkou DEK

- Samočinná regulace tlaku nezávislá na směru a rychlosti proudění vzduchu (náporu větru)
- Uzavírací moment se reguluje systémem tažných pružin – patentově chráněno
- Požadovaný přetlak lze nastavit na místě úpravou délky předpětí pružiny v rozmezí 30 ÷ 70 Pa, z výroby nastaven na 50 Pa

- Pružinové pohony pro uvedení zařízení do činnosti do 60 vteřin
- Tepelná izolace střešních soklů a těsných uzavíracích klapek
- Pomocné servopohony se zpětnou pružinou pro zajištění prosvětlení, případně provozního větrání světlíkové klapky

Obr. 3 *Odvodní zařízení s tlak regulující klapkou DEK*

ZÁVĚR

Cílem tohoto článku a prezentace na konferenci bylo ukázat, co všechno znamená definice pojmu „přetlakové větrání“ a jak je toto řešení větrání CHÚC podstatně odlišné od pouhého nuceného větrání s předepsanými výměnami vzduchu, za které je obvykle zaměňováno. Při Vašich návrzích Vám budeme společně s výrobcem systému zařízeni EICHELBERGER k dispozici.

KLAPKY PRO SYSTÉMY ODVODU KOUŘE A TEPLA VÝROBCE MANDÍK, A. S.

Ing. Jan Kontra
MANDÍK, a. s.
kontra@mandik.cz

MANDÍK, a. s. je česká rodinná společnost s tradicí výroby vzduchotechnických a protipožárních komponentů, klimatizačních jednotek a průmyslového vytápění již od roku 1990. V České republice je společnost MANDÍK, a.s. známa v oblasti požární ochrany zejména dodávkami požárních klapek a uzávěrů pro vzduchotechnické systémy. Mimo protipožárních prvků se společnost MANDÍK, a.s. zabývá také výrobou klapek pro systémy odvodu kouře a tepla (dále jen OTK). V následujícím článku se budeme zabývat problematikou klapek OTK, jejich klasifikací a v neposlední řadě vyráběnými typy. Problematika konstrukce a testování klapek OTK je značně rozsáhlá. V následujícím textu se pokusíme zevrubně osvětlit základní parametry velmi důležitého prvku systémů OTK, jakým klapka odvodu tepla a kouře bezesporu je.

Klapky pro systémy OTK se řídí následujícími normami:
ČSN EN 12101-8 – Zařízení pro usměrňování odvodu kouře a tepla – Klapky pro odvod kouře
Tato norma shrnuje základní požadavky na klapky OTK, na základě této normy autorizovaná osoba (požární zkušebna) vydává certifikát.
ČSN EN 13501-4+A1 – Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí – Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti prvků systémů pro usměrňování pohybu kouře.
Tento normativní dokument popisuje mimo jiné zápis klasifikace klapek OTK.
ČSN EN 1366-10 – Zkoušky požární odolnosti provozních instalací – Klapky pro odvod kouře
V této normě jsou přesně popsány zkušební metody pro všechny druhy klapek OTK.
ČSN EN 1751 – Aerodynamické zkoušky klapek a ventilů – dle této normy jsou zkoušeny klapky OTK na těsnost za studena – tzn. bez požáru.
S výše uvedenými normami se setkáte v technické dokumentaci každé klapky OTK.

Klapky OTK jsou tzv. stanoveným výrobkem, který musí projít sérií předepsaných zkoušek dle normy ČSN EN 1366-10 pro ověření vlastností požadovaných normou ČSN EN 12101-8. Zkoušky prvků s požární odolností zajišťuje autorizovaná požární zkušebna, která disponuje odpovídajícími zkušebními zařízeními dle požadavků souvisejících norem. Výsledky zkoušek, které proběhly v členském státu EU, jsou uznatelné i na území ostatních členských států EU.

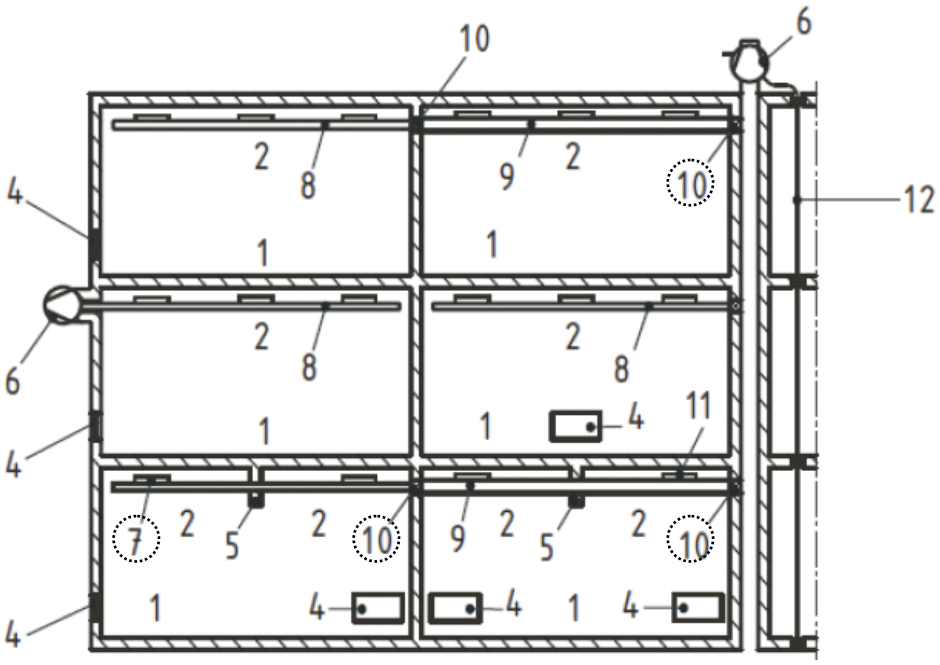
Základní funkce klapek OTK

V případě požáru systém OTK otevře klapky v úseku zasaženém požárem nebo naopak uzavře klapky v úsecích nezasažených požárem a tím umožní odtahovým ventilátorům systému OTK odvádět zplodiny hoření a teplo z prostorů zasažených požárem. Při účinném odvodu kouře a tepla ze zasaženého prostoru je možné efektivně zajistit evakuaci osob a následně přístup hasební techniky včetně hasičů k ohnisku požáru.

Základní členění klapek OTK

Rozlišujeme dva základní typy klapek OTK, které se liší svým použitím v systémech OTK, ale také konstrukcí a zkušebními metodami, kterými klapky procházejí.
Klapka OTK „**Single**“ – klapka pro odvod kouře a tepla z jednoho požárního úseku.
Klapka OTK „**Multi**“ – klapka pro odvod kouře a tepla z více požárních úseků.

Příklad celého systému odvodu kouře a tepla a jeho jednotlivé prvky (řez několikapatrovou budovou).
Na následujícím obrázku je znázorněno několik typů systémů OTK.



Tučným tečkovaným kroužkem jsou vyznačeny klapky OTK typu **Single** a **Multi**
1 – požární úsek
2 – prostor zakouření / kouřová zóna
4 – otvor pro přívod vzduchu do prostoru zasaženého požárem
5 – kouřové zábrany
6 – ventilátory pro nucený odvod kouře a tepla
7 – klapky pro odvod kouře a tepla z jednoho úseku (SINGLE)
8 – potrubí pro odvod kouře a tepla z jednoho úseku (dle EN1366-8)
9 – potrubí pro odvod kouře a tepla z více úseků (dle EN1366-8)
10 – klapky pro odvod kouře a tepla z více úseků (MULTI)
11 – klapky pro odvod kouře a tepla z více úseků (MULTI)
12 – elektrické napájení

Klasifikace klapek OTK pro odvod tepla a kouře z jednoho úseku – **SINGLE**
Příklad označení klasifikace klapky: **E_{600} 90 (v_{ed}-i↔o) S1000C_{300}AAsingle**

E_{600} – kritérium celistvosti při zvýšené teplotě 600 °C znamená splnění předepsané hranice netěsnosti klapky při teplotě okolí a při uzavření po 5-ti nebo 30-ti minutách (v závislosti na typu ovládání) od začátku zkoušky. Zároveň musí být zajištěno zachování schopnosti otevření klapky při zvýšené teplotě 600°C.
90 – délka zkoušky v minutách – definuje čas, po který byly splněny všechny podmínky pro splnění klasifikovaného kritéria („S“ a „E“). Další možné klasifikační doby jsou 15,30,45,60,90,120,180,240 minut.
v_{ed} – vhodnost montáže do svislé polohy a do potrubí. Ostatní značení jsou **v_{ew}, h_{od}, h_{ow}**
v_e – svislá poloha (klapka osazená do potrubí procházející svislou stěnou „v_{ed}“ nebo přímo do stěny „v_{ed}“

h_o – horizontální poloha (klapka osazená do potrubí procházejícího stropem „h_{od}“ nebo přímo do stropu „h_{ow}“)

index „w“ značí stěnu (*wall*)

index „d“ značí potrubí (*duct*)

PŘI OZNAČENÍ ZPŮSOBU INSTALACE SE NEBERE V ÚVAHU ORIENTACE OSY LISTU KLAPKY.

(o→i) … odolnost prvku proti požáru vně potrubí

(i→o) … odolnost prvku proti požáru uvnitř potrubí

(i↔o) … odolnost prvku proti požáru uvnitř i vně potrubí

S1000 – kouřotěsnost do podtlaku -1000 Pa (Nebo alternativně „-500“ nebo „-1500“ Pa. Klapka zkoušená při podtlaku -500,-1000 nebo -1500 Pa je vhodná i pro použití při přetlaku +500 Pa), max. povolená netěsnost při zkušebním podtlaku je 200m^3/(h.m^2) průřezu klapky)

C_{300} – znamená, že klapka absolvovala zkoušku na 300 cyklů z otevřené polohy do uzavřené a zpět.

AA – klapka určená pro systémy OTK s automatickou aktivací (spuštěním) – reakce servopohonu při požáru začne do 30 s od detekce požáru systémem EPS, přestavení klapky do své bezpečnostní pozice do max. 60 s, celkem tedy max. 90 s do ukončení cyklu uzavření nebo otevření klapky. Alternativní značení k „AA“ je „**MA**“ – tzv. manuální aktivace – reakce servopohonu při požáru začne do 25 min od detekce požáru systémem EPS, uzavření klapky do max. 60 s, celkem tedy max. 26 min. do ukončení cyklu uzavření nebo otevření klapky.

single – klapka pro odvod kouře z jednoho požárního úseku

Klasifikace klapek OTK pro odvod kouře z více požárních úseků – **MULTI**

Příklad označení klasifikace klapky: **EI120 (v_{ed} -i↔o) S1000C_{10000}HOT400/30AAmulti**

E – kritérium celistvosti (tzn. schopnost klapky zachovat svou funkčnost, tzn. propouštění požáru a spodin hoření netěsnostmi, trhliny a otvory nepřesahující stanovené rozměry) při normové křivce zkušebního požáru „Teplota-čas“. Normová křivka požáru „teplota-čas“ je udávána normou ČSN EN 1363-1. Pro ilustraci je zkoušený bezpečnostní prvek vystaven teplotě kolem 1000 °C v 90-té minutě od počátku požární zkoušky a teplotě kolem 1050°C ve 120-té minutě od počátku požární zkoušky. Na rozdíl od klapek Single je tedy klapka Multi vystavena mnohem větším zatížením.

I – kritérium izolační schopnosti – vzrůst průměrné teploty na neexponované straně (tzn. straně prvku odvrácené od požáru) nejvýše o 140 °C nad počáteční teplotu nebo max. vzrůst teploty o 180 °C nad počáteční teplotu v kterémkoliv jednom místě zkoušeného prvku

120 – délka požární zkoušky v min

C_{10000} – znamená, že klapka absolvovala zkoušku na 10000 cyklů z otevřené polohy do uzavřené a zpět

HOT400/30 – označuje, že klapka má schopnost se otevírat nebo zavírat po dobu 30 min při teplotě pod +400°C.

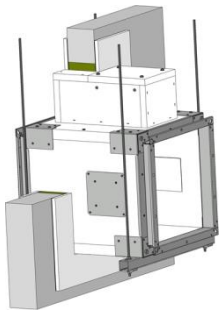
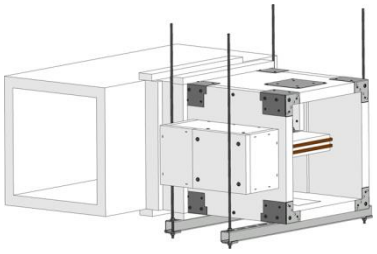
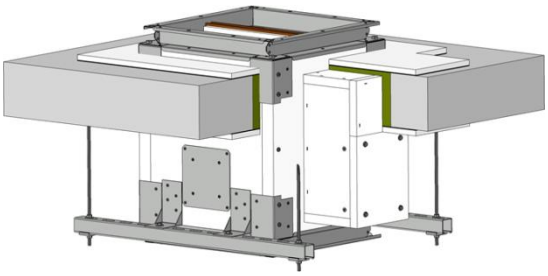
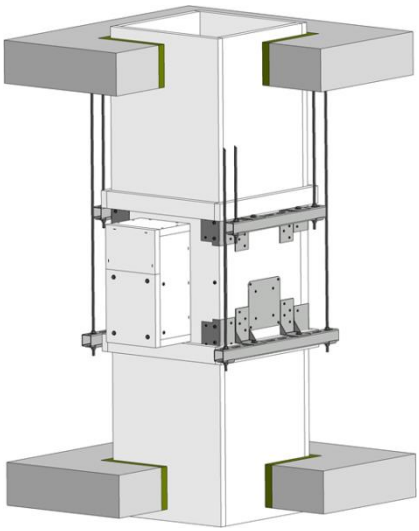
multi – klapka pro odvod kouře z více požárních úseků

Ostatní symboly v označení klasifikace klapek Multi má stejný význam jako u předchozích značení klapek Single.

Z výše uvedeného je zřejmé, že klapky OTK mají poměrně rozsáhlejší zápis jejich klasifikace na rozdíl od požárních klapek. Důležité je vědět, že:

Klapky OTK zkoušené pro zařízení s manuální aktivací (MA) jsou použitelné i pro systémy s automatickou aktivaci (AA), nikoliv však naopak.
Klapky OTK „MULTI“ zkoušené podle normové křivky (dle EN1363-1) jsou použitelné i pro odvod kouře z jednoho úseku po stejnou klasifikační dobu. V tomto případě vstupuje do problematiky ekonomické hledisko, protože jak si ukážeme dále, klapky „MULTI“ mají poměrně robustnější a tím pádem i nákladnější konstrukci nežli klapky „SINGLE“. To je samozřejmě dáno předepsanými zkušebními procesy klapek Multi a Single daných normou ČSN EN 1366-10.

Na následujících obrázcích dodatečně vysvětlíme základní členění umístění klapek v požárně dělících konstrukcích a v potrubí OTK.

v_{ew} – prvek umístěn ve svislé požárně dělící konstrukci 	**v_{ed}** – prvek umístěn v potrubí procházejícím svislou požárně dělící konstrukcí – tzn. ve vodorovném potrubí 
h_{ow} – prvek umístěn ve vodorovné požárně dělící konstrukci – tzn. stropu 	**h_{od}** – prvek umístěn v potrubí procházejícím vodorovnou požárně dělící konstrukcí – tzn. ve svislém potrubí 

Základní popis konstrukce klapek OTK „Single“
Klapky odvodu kouře a tepla – single – jsou uzávěry v potrubních rozvodech odkuřovacích zařízení, které umožňují odvádět teplo a zplodiny hoření z jednoho požárního úseku. Konstrukčně se skládají z tělesa klapky, listu a jeho uložení, servopohonu. Ovládání listu klapky je zajištěno vždy pouze servopohonem. Tělesa klapek jsou běžně dodávána v

provedení z pozinkovaného plechu bez další povrchové úpravy s revizním otvorem na bocích klapky. Listy klapek jsou vyrobeny z bezazbestových požárně odolných desek nebo z pozinkovaného plechu. Spojovací materiál a díly uložení listu jsou galvanicky pozinkovány. Klapky určené pro systémy s manuální aktivací mají navíc na rozdíl od klapek pro systémy s automatickou aktivací servopohon chráněn krytem z nehořlavých bezazbestových desek.

Základní popis konstrukce klapek OTK „Multi“
Klapky odvodu kouře a tepla – multi – jsou uzávěry v potrubních rozvodech odkuřovacích zařízení,
které umožňují odvádět teplo a zplodiny hoření z více požárních úseků. Konstrukčně se skládají z tělesa klapky, listu a jeho uložení, servopohonu. Ovládání listu klapky je zajištěno vždy pouze servopohonem. Tělesa klapek jsou běžně dodávána v provedení z pozinkovaného plechu bez další povrchové úpravy nebo v provedení z nehořlavých kalciumsilikátových desek, vždy s revizním otvorem na bocích klapky. Listy klapek jsou vyrobeny z bezazbestových požárně odolných desek. Spojovací materiál a díly uložení listu jsou galvanicky pozinkovány. Klapky určené pro systémy s manuální aktivací mají navíc na rozdíl od klapek pro systémy s automatickou aktivací servopohon chráněn krytem z nehořlavých bezazbestových desek.

Základní typy ovládání klapek OTK
List klapek OTK je vždy ovládán přímo servopohonem, který na rozdíl od požárních klapek není vybaven zpětnou pružinou. Při přerušení napájení servopohonu, servopohon zůstane stát ve své aktuální poloze. Firma MANDÍK, a.s. používá pro své klapky OTK výhradně servopohonu od firmy BELIMO (typ BE, BLE) nebo Schischek (typ InMax), které jsou přímo určeny pro systémy OTK. Provedení klapek se dle použitého typu servopohonu značí doplňkovým dvojčíslím v označení typu klapky (tzv. objednávkovém klíči).

Doplňkové dvojčíslí	Servopohon	Napájecí napětí
.44	BLE 230, BE 230-12, InMax 50.75-S	AC 230 V
.54	BLE 24, BE 24-12, InMax 50.75-S	AC/DC 24 V
.66	BLE 24 nebo BE 24-12 s komunikačním a napájecím zařízením BKNE230-24	AC 230 V

Protože jsou klapky OTK primárně určeny pro použití v potrubních systémech, kde je v provozu ventilátor OTK, tak i použité ovládací momenty u servopohonu jsou poměrně velké – viz následující tabulka. Servopohon musí totiž překonat síly od samotného ovládacího mechanismu (uložení) listu klapky a také od dynamických účinků proudícího vzduchu při průtoku kouře klapkou. Pro tyto účely každá klapka OTK prochází zkouškou cyklováním s dodatečnou zátěží na listu klapky, která simuluje dynamické účinky proudu produktů hoření v systémech OTK.

Typ servopohonu	Krouticí moment
BLE (Belimo)	15Nm
BE (Belimo)	40Nm
InMax (Schischek)	50Nm

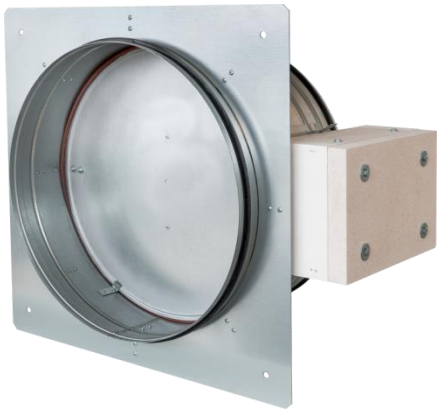
Základní typy klapek „**SINGLE**“ vyráběných firmou MANDÍK, a. s.

Typ SEDS

Základní charakteristiky:

- Čtyřhranné jednolisté od 180x180mm do 1600x1000mm
- Max. rychlost proudění vzduchu 15 m/s
- Max. tlakový rozdíl -1000 Pa až +500 Pa
- Těsnost dle ČSN EN 1751 přes těleso třídy C a přes list třídy 2.
- Provedení s přírubami 30 mm.
- Technické podmínky **TPM086/12**
- Provedení pouze se servopohonem (Belimo BE, BLE nebo pro větší velikosti Schischek InMax).
- **Instalace s vodorovnou osou listu.**
- Klasifikace **E_{600} 90 (v_{ed} - i↔o) S1000C_{300}AAsingle**
- Test cyklování proveden se zátěží – tudíž přestavení klapky je možné i při zapnutých ventilátorech.

Typ SEDS-R



Základní charakteristiky:

- Kruhové jednolisté od ø100mm do ø630mm
- Max. rychlost proudění vzduchu 15 m/s
- Max. tlakový rozdíl -1500 Pa až +500 Pa
- Těsnost dle ČSN EN 1751 přes těleso třídy B a přes list třídy 2.
- Technické podmínky **TPM120/16**
- Provedení pouze se servopohonem (Belimo BLE).
- **Instalace možná s vodorovnou osou listu.**
- Klasifikace **E_{600} 120 (v_{edw} i↔o) S1500 C_{10000}MA single**
- Test cyklování proveden se zátěží – tudíž přestavení klapky je možné i při zapnutých ventilátorech.

Typ SEDS-L

Základní charakteristiky:

- Čtyřhranné vícelisté od 200x200mm do 1200x1200mm
- Max. rychlost proudění vzduchu 12 m/s
- Max. tlakový rozdíl -1500 Pa až +500 Pa
- Těsnost dle ČSN EN 1751 přes těleso třídy B a přes list třídy 2.
- Technické podmínky **TPM121/16**
- Provedení pouze se servopohonem (Belimo BLE a BE).
- **Instalace možná s vodorovnou osou listu.**
- Klasifikace **E_{600} 120 (v_{ed} i↔o) S1500 C_{10000}MA single**
- Test cyklování proveden se zátěží – tudíž přestavení klapky je možné i při zapnutých ventilátorech.

Základní typy klapek „**MULTI**“ vyráběných firmou MANDÍK, a. s.

Typ SEDM

Základní charakteristiky:

- Čtyřhranné jednolisté od 180x180mm do 1600x1000mm
- Max. rychlost proudění vzduchu 15 m/s
- Max. tlakový rozdíl -1500 Pa až +500 Pa
- Těsnost dle ČSN EN 1751 přes těleso třídy C a přes list třídy 2.
- Klapka kompletně vyrobena z cementovápenných desek.
- Technické podmínky **TPM087/12**
- Provedení pouze se servopohonem (Belimo BE, BLE nebo pro větší velikosti Schischek InMax).
- **Instalace možná s vodorovnou i svislou osou listu.**
- Test cyklování proveden se zátěží – tudíž přestavení klapky je možné i při zapnutých ventilátorech.
- Základní klasifikace EI 120 (v_{ew},v_{ed} – h_{ow},h_{od} i↔o) S1500 C_{10000}HOT400/30 AA multi

Typ MSD

Základní charakteristiky:

- Čtyřhranné jednolisté („MSD-S“) od 160x180mm do 1500x800mm
- Kruhové („MSD-R“) od ø180 do ø630mm
- Max. rychlost proudění vzduchu 15m/s
- Max. tlakový rozdíl -1500 Pa až +500Pa
- Těsnost dle ČSN EN 1751 přes těleso třídy C a přes list třídy 2.
- Technické podmínky **TPM109/15**
- Provedení pouze se servopohonem (Belimo BE, BLE nebo pro větší velikosti Schischek InMax).
- Instalace možná s vodorovnou i svislou osou listu.
- Klasifikace EI 120 (v_{ew} – h_{ow} i↔o) S1500 C_{10000}HOT400/30 AA multi
- Klasifikace EI 90 (h_{od} - i↔o) S1500 C_{10000}HOT400/30 AA multi
- Klasifikace EI 120 (v_{ed} - i↔o) S1500 C_{10000}HOT400/30 AA multi
- Test cyklování proveden se zátěží – tudíž přestavení klapky je možné i při zapnutých ventilátorech.

Pro bližší technické informace o našich produktech navštivte naše internetové stránky www.mandik.cz a nahlédněte do technických podmínek (TPM) jednotlivých prvků na odkazu „*Technická dokumentace*“, který je umístěn na stránce každého produktu.

CFD MODEL VENTILÁTOROVÉ KOMORY SESTAVNÉ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Petr Zelenský[1,2], Martin Barták[1,2], Vladimír Zmrhal[1,2], Radislav Krupa[3]

[1] ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
[2] ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
[3] ALTEKO, s.r.o.
petr.zelensky@fs.cvut.cz, krupa@alteko.cz

ANOTACE

Ventilátorová komora je důležitou součástí každé sestavné klimatizační jednotky. Její vnitřní uspořádání má významný vliv jak na energetickou účinnost celé jednotky, tak na vyzařovaný hluk. Analýza a optimalizace konstrukčního návrhu ventilátorové komory z hlediska proudění vzduchu je složitá problematika, obtížně řešitelná bez použití počítačové mechaniky tekutin (CFD). Příspěvek ukazuje současné možnosti softwaru ANSYS při modelování a simulaci provozu ventilátorové komory jednotky ALTEKO Tango 4 vybavené radiálním ventilátorem s volně uloženým oběžným kolem. Je popsán postup přenesení detailní geometrie z návrhového CAD softwaru a její nutné zjednodušení, tvorba výpočetní sítě a CFD simulace zahrnující vliv rotace oběžného kola ventilátoru. Studie je součástí projektu podpořeného EU v rámci Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Její výsledky budou využity pro optimalizaci konstrukce ventilátorové komory ALTEKO Tango 4.

ÚVOD

S rostoucími možnostmi výpočetní techniky se postupně mění přístupy a nástroje projekční a konstruktérské činnosti v oboru techniky prostředí. Standardní metody jsou doplňovány dalšími alternativami, mezi něž patří i počítačová mechanika tekutin – CFD (computational fluid dynamics). Její podstatou je numerické řešení diferenciálních rovnic popisujících proudění tekutin. CFD simulace poskytuje hodnoty tlaku, rychlosti, teploty, intenzity turbulence a dalších veličin na síti výpočetních buněk (kontrolních objemů), na které je rozdělena oblast, v níž se provádí výpočet proudění, přenosu tepla, příp. přenosu látky.

Motivací pro použití simulačních metod při navrhování a projektování je snížení nákladů na vývoj (projekt), výrobu (realizaci) i provoz zařízení (systémů, budov, …). První důležitou roli hrají simulace tím, že poskytují jinak nedostupné informace, na jejichž základě lze racionálně rozhodovat o postupu návrhu, dimenzování zařízení apod. Další důležitou funkci má relativně snadná dostupnost variantních řešení, takže simulace lze využít k optimalizaci návrhu či provozu zařízení. Lze tak zvýšit účinnost, kvalitu, životnost, bezpečnost, ale i snížit dopad na životní prostředí, a to jak u nových, tak i stávajících zařízení a systémů.

To platí samozřejmě také o metodě CFD, která umožňuje analyzovat proudění tekutiny zároveň detailně i komplexně a díky tomu lépe poznat a pochopit skryté interakce. Na dále popsaném případu ventilátorové komory je zřejmé, že detailně zkoumat proudění měřením v tak složité geometrii by bylo prakticky nemožné, nemluvě o variantních řešeních vnitřního uspořádání komory. Efektivní využití CFD simulací při navrhování a optimalizaci zařízení se složitější geometrií závisí na tom, jak náročné je zpracovat prostorový model zařízení a vytvořit numerickou síť, na níž se provádí simulační výpočet. U softwarových nástrojů pro tvorbu geometrie a výpočetních sítí CFD modelů došlo v posledních pěti letech k výraznému posunu, který je částečně popsán v tomto příspěvku.

Na ČVUT v Praze probíhá ve spolupráci s firmou ALTEKO dvouletý výzkumný projekt zaměřený na optimalizaci ventilátorové komory pro sestavné klimatizační jednotky ALTEKO Tango 4. Projekt je řešen v rámci Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Počáteční etapou projektu v prvním pololetí 2017 byla detailní analýza proudění ve ventilátorové komoře metodou CFD a experimentální stanovení stávajících hlukových parametrů jednotky. Proudění vzduchu ventilátorovou komorou ovlivňuje jak tlakové ztráty jednotky (tj. její energetickou účinnost), tak i vyzařovaný hluk. Simulační analýza proudění poskytuje podklady pro změny vnitřního uspořádání komory, jejichž účelem je minimalizovat vznik lokálních tlakových ztrát a možných zdrojů hluku. Cílem projektu je inovované konstrukční řešení přinášející vyšší energetickou účinnost a nižší akustický výkon generovaný zařízením.

NÁSTROJE TVORBU GEOMETRIE A VÝPOČETNÍ SÍTĚ CFD MODELŮ

Příprava geometrického modelu pro CFD simulaci

Prostorová (3D) geometrie modelu může být zadána dvěma způsoby. První možností je použít dokumentaci ve formě výrobních výkresů či náčrtů. Počítačový model je pak nutné kompletně vytvořit v některém z celé řady nástrojů pro přípravu geometrie CFD úlohy, např. v softwaru ANSYS jsou to programy Design Modeller či SpaceClaim. Tato metoda byla v minulosti používána přednostně, především kvůli nekompatibilitě souborů vytvořených v konstrukčních programech a v programech pro CFD simulace. Modely tak nebylo možné přenášet z jedné skupiny programů do druhé. Její velkou nevýhodou je značná časová náročnost a v geometricky složitých případech i obtížnost tvorby počítačového modelu.

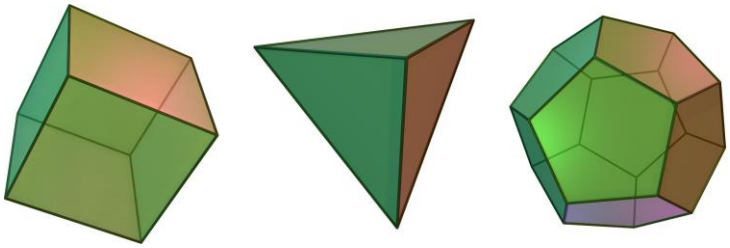
V současnosti má zcela přednost druhá metoda – import 3D geometrie vytvořené konstruktérem v programu, jako je Autodesk Inventor, SolidWorks, Catia apod., do programu pro přípravu CFD modelu. Přitom se používá některý z univerzálních formátů (např. STEP) nebo převaděče formátů, kterými jsou vybaveny nástroje pro tvorbu geometrie CFD modelů. Výhodou této metody je vyšší rychlost a menší chybovost, vždy je však nutné importovaný model zkontrolovat a geometrii upravit pro potřeby CFD simulace. Konstrukční 3D modely často obsahují chyby, které nevadí při tvorbě výrobní dokumentace, nicméně musí být opraveny před CFD simulací. Mohou to být např. chybějící plochy těles, drobné kolize součástí, drobné nepřesnosti v jejich umístění apod. Modely také často obsahují geometrické detaily nevýznamné pro řešenou CFD úlohu, avšak znesnadňující tvorbu výpočetní sítě. Proto je vhodné geometrii zjednodušit a nežádoucí detaily odstranit. V neposlední řadě je nutné pamatovat na to, že předmětem CFD simulace nejsou součásti zařízení, ale prostor, který je obklopuje, vyplněný tekutinou. Je tedy vždy nutné vytvořit z konstrukčního modelu model doplňkový neboli inverzní. V simulačním softwaru ANSYS lze všechny popsané úkoly zvládnout v nástroji SpaceClaim.

Tvorba výpočetní sítě

CFD simulace jsou většinou založeny na metodě konečných objemů, tj. rozdělení zkoumané oblasti na velké množství na sebe navazujících kontrolních objemů a následném řešení rovnic zachování hmoty, hybnosti a energie pro každý z nich. Kvalita sítě buněk, na které je rozdělena výpočetní oblast, významně ovlivňuje konvergenci výpočtu, přesnost a správnost výsledků. Proto je tvorbě výpočetní sítě nutné věnovat velkou pozornost.

Historicky jsou základními prvky prostorové sítě šestistěn a čtyřstěn, viz obr. 1. Hlavní nevýhoda šestistěnných buněk spočívá v jejich obtížné aplikaci ve složitějších geometriích. Snaha o automatizaci tvorby výpočetní sítě vedla k používání čtyřstěnných buněk, kterými lze sice snadněji diskretizovat geometricky složitou oblast, ale mají jiné nevýhody. Jejich objem

je relativně malý (např. pravidelný čtyřstěn má cca osmkrát menší objem než krychle o stejně dlouhé hraně), takže při jejich použití stoupá počet buněk ve výpočetní oblasti, což přináší vyšší nároky na paměť i výkon počítače. Další problém čtyřstěnných buněk je v občasné tendenci generátorů sítě vytvářet klínovité útvary s velmi ostrým vrcholovým úhlem. To následně komplikuje konvergenci simulačního výpočtu.



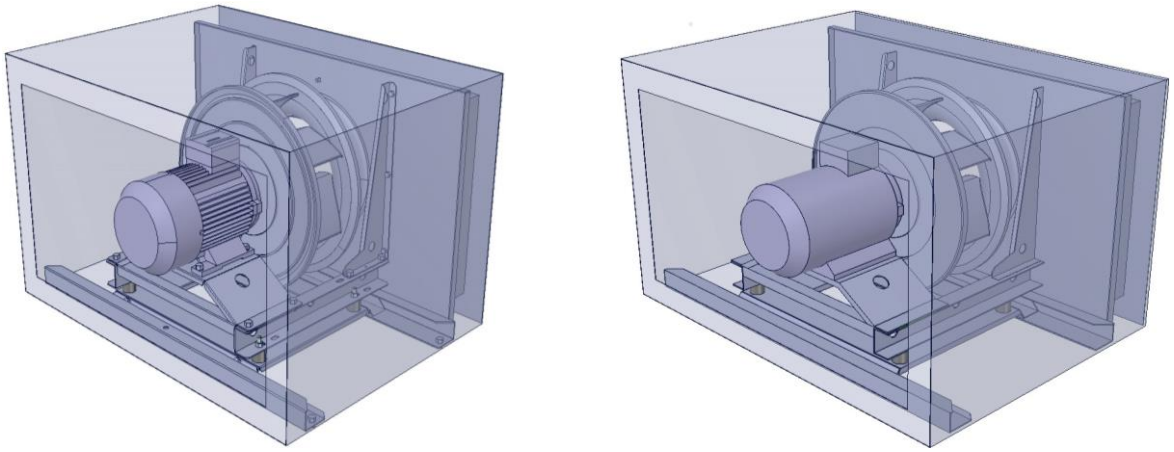
a) b) c)

Obr. 1 *Základní prvky prostorové výpočetní sítě [1]*
a) šestistěn, b) čtyřstěn, c) mnohostěn

Možným kompromisem jsou buňky ve tvaru mnohostěnů, viz obr. 1, tvořící tzv. polyedrální síť. U této sítě je počet buněk relativně nižší než u čtyřstěnných elementů, zároveň lze polyedrálními buňkami relativně snadno diskretizovat i složité geometrie. Aby byly dodrženy požadavky na přesnost řešení v blízkosti obtékané stěny, kde je velký příčný gradient rychlosti (mezní vrstva), nahrazuje se polyedrální síť v této oblasti proudění několikanásobnou vrstvou nízkých prizmatických buněk, jejichž základna je element sítě na povrchu stěny v příslušném místě. V softwaru ANSYS lze k tvorbě polyedrální sítí i vrstev prizmatických buněk použít program Fluent Meshing. Přestože klade poměrně vysoké nároky na uživatele, nabízí robustní poloautomatický generátor povrchových a objemových sítí s řadou funkcí pro jejich následnou úpravu a zdokonalení.

CFD MODEL A SIMULACE PROUDĚNÍ VE VENTILÁTOROVÉ KOMOŘE

V případě řešené studie byla použita detailní 3D geometrie ventilátorové komory o vnitřních rozměrech 800 x 500 x 600 mm (šířka x výška x délka) vytvořená konstruktéry v programu SolidWorks, viz obr. 2a. Geometrie byla k dispozici v univerzálním formátu STEP, v němž bylo možné ji importovat do objemového modeláře ANSYS SpaceClaim.



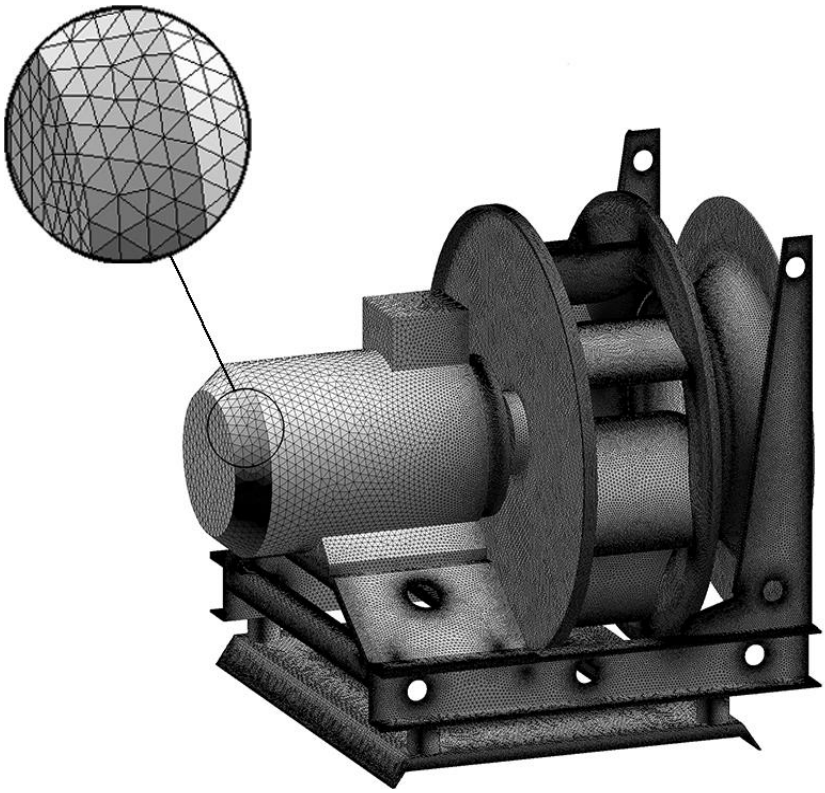
a) *b)*

***Obr. 2** Model ventilátorové komory*
a) geometrie z konstrukčního programu, b) geometrie optimalizovaná pro CFD

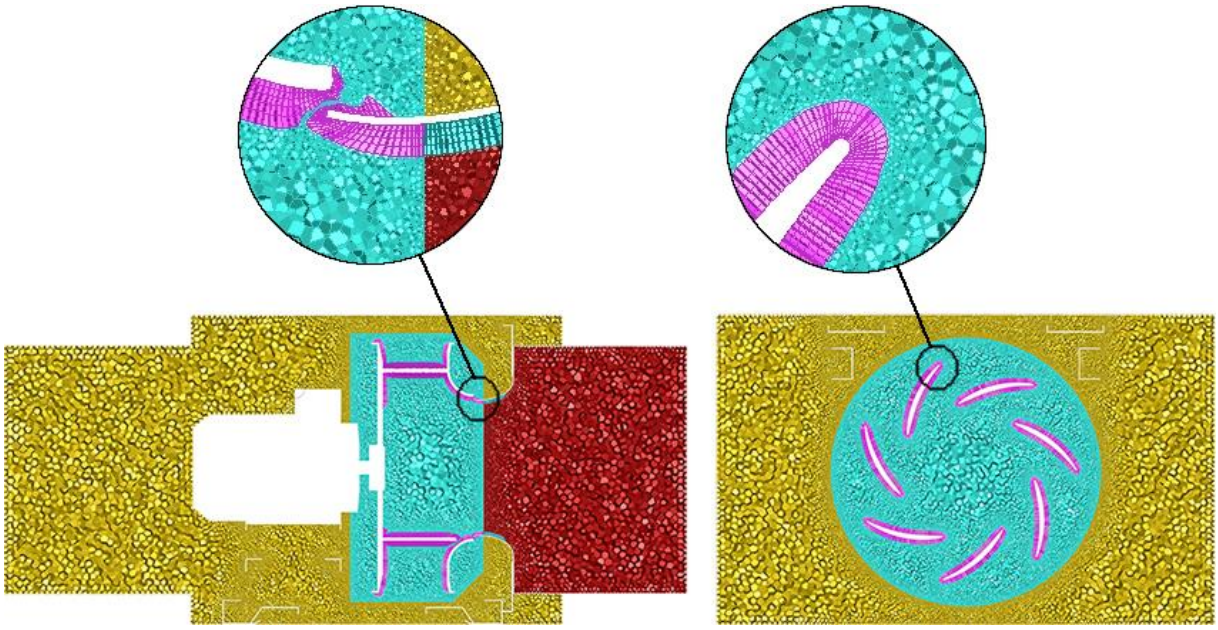
Po kontrole kvality získané geometrie a opravě dílčích chyb (korekce souososti motoru, oběžného kola a sacího ústí a korekce polohy kolidujících těles) byla provedena následující zjednodušení, u kterých se předpokládá minimální vliv na proudění ve ventilátorové komoře (upravená geometrie je zobrazena na obr. 2b):

- odstranění matic, podložek, šroubů a závitových tyčí; vyplnění všech otvorů po odstraněných součástech;
- odstranění technologických zaoblení rohů a prostřihů ohýbaných plechových profilů;
- zjednodušení geometrie lože motoru;
- zjednodušení geometrie motoru;
- oprava modelu oběžného kola se zachováním hlavní geometrie lopatek a obtékaných ploch (spojení nevhodně dělených ploch na povrchu geometrie, odstranění dvojitých hran a miniaturních ploch, odstranění technologických zaoblení na patě lopatek aj.;
- vytvoření vzduchovodu obdélníkového průřezu délky 0,2 m na sání a 0,3 m na výtlaku ventilátorové komory (není zobrazeno na obr. 2).

Geometrie ventilátorové komory upravená pro účely CFD simulace byla přenesena do nástroje ANSYS Fluent Meshing. Objemový model byl automaticky převeden na soubor ploch, které byly zasíťovány základní povrchovou sítí z trojúhelníků s předem zadanými parametry, viz obr. 3. Základní povrchová síť slouží jako podklad pro následující objemovou diskretizaci řešeného prostoru a musí být proto dostatečně jemná tak, aby postihla všechny důležité geometrické detaily. Je také nutné ověřit její kvalitu a případně provést úpravy problematických buněk. Dále byla vytvořena objemová polyedrální síť se zhuštěnou mezní vrstvou na lopatkách oběžného kola a vnitřní ploše sacího ústí, viz obr. 4. Výsledná objemová síť měla 11,5 milionu výpočetních buněk.



Obr. 3 *Základní povrchová síť vnitřních součástí ventilátorové komory*



Obr. 4 *Výsledná objemová síť výpočetního modelu s vrstvami prizmatických buněk u vybraných povrchů*

Numerické řešení

Simulace metodou CFD byly provedeny v programu ANSYS Fluent 18.0. Úlohy byly řešeny pro izotermické proudění nestlačitelného vzduchu. Bylo testováno pět různých modelů turbulence: tři běžně používané modely k-ε, model k-ω SST a Reynoldsův napěťový model (Reynolds Stress Model - RSM). Zatímco výsledky pro jednotlivé varianty modelů turbulence

se navzájem příliš nelišily, nejlepší konvergenci řešení vykazoval dvourovnicový model typu k-ε podle Shiha et al. [2] (k-ε *Realizable*), v němž byly zahrnuty korekce na tlakový gradient. Tento model turbulence byl dále použit pro výpočet proudění při různých provozních stavech ventilátoru. Proudění u stěn bylo simulováno přes celou mezní vrstvu až k pevným povrchům (tj. bez stěnových funkcí). Pro diskretizaci rovnice tlaku bylo zvoleno schéma PRESTO!, které manuál [3] doporučuje pro simulaci rotačních strojů, a pro konvektivní členy řešených rovnic protiproudé schéma druhého řádu. Pro propojení tlakového a rychlostního pole v pohybových rovnicích posloužil algoritmus SIMPLE.

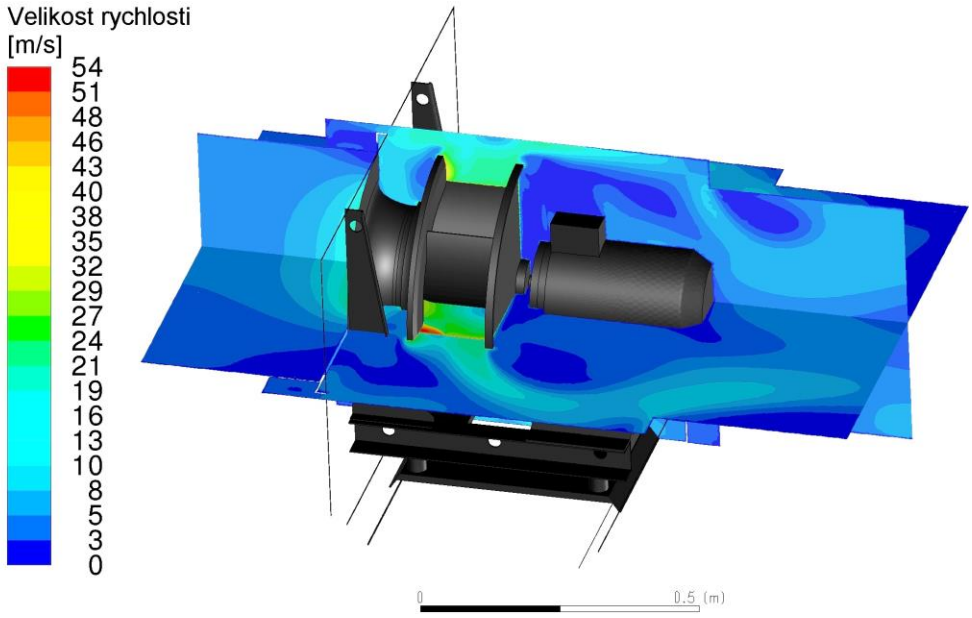
Zásadním aspektem simulace proudění ventilátorovou komorou je způsob řešení rotace oběžného kola ventilátoru. K této problematice lze v programu ANSYS Fluent přistupovat dvěma způsoby [3]:

- **Multiple Reference Frame (MRF)** – jedná se o výpočet proudění ventilátorem v jediném okamžiku a jediné poloze oběžného kola. Vliv rotace kola je aproximován předepsáním unášivé složky rychlosti do stanovené objemové oblasti úlohy. Výsledkem je stacionární obraz proudění v simulovaném prostoru.
- **Sliding Mesh** – proudění je řešeno jako neustálené. Dochází k rotaci kola, tj. kontinuální změně vzájemné polohy lopatek kola a těch částí ventilátorové komory, které se nepohybují. Výhodou této metody oproti metodě MRF je potenciální vyšší přesnost získaných výsledků, nevýhodou vyšší výpočetní a časová náročnost simulace a vyšší nároky na zpracování získaných výsledků.

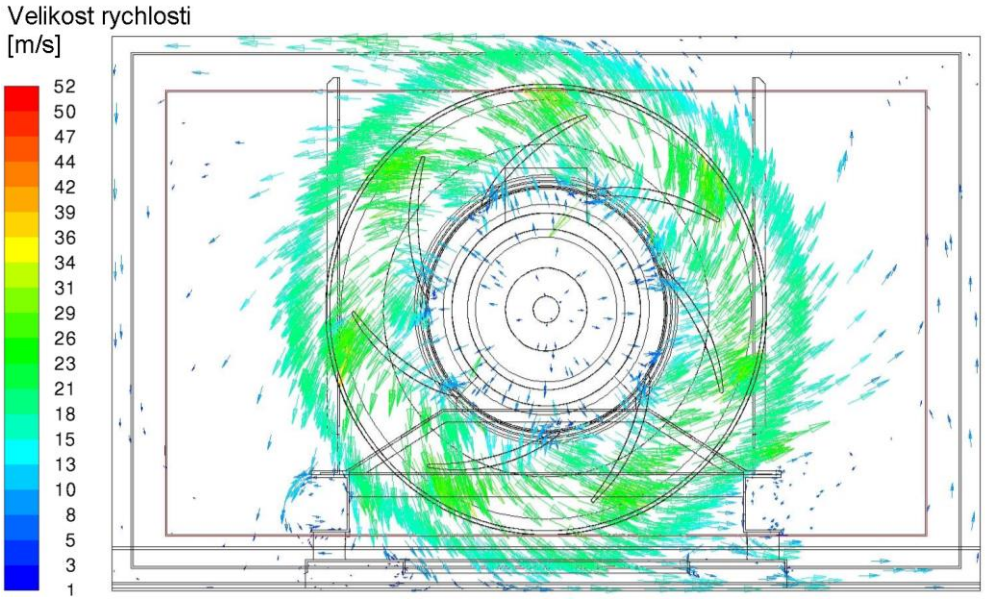
V první fázi řešeného projektu byla rotace oběžného kola ventilátoru aproximována metodou MRF. Jako rotující oblast byl zvolen objem těsně obklopující oběžné kolo. Výpočet byl proveden pro čtyři pracovní body ventilátoru při otáčkách motoru 1996, 2126, 2284 a 2500 min^{-1} a různých dopravních tlacích. U všech simulací bylo spočítáno 12 000 iterací. Hodnoty reziduí hmotnostních toků při ukončení výpočtu byly v řádu 10^{-5}, hodnoty reziduí ostatních veličin pak v řádu 10^{-6}.

Vyhodnocení výsledků simulačních výpočtů

Na základě obdržených výsledků lze provádět velmi detailní i globální analýzu proudění ve ventilátorové komoře. Pro ukázku je na obr. 5 zobrazeno rychlostní pole ve dvou řezech ventilátorovou komorou a na obr. 6 pak vektory rychlostí v oběžném kole, při otáčkách ventilátorového kola 2500 min^{-1}. Dále byly porovnány výsledné objemové průtoky vzduchu ventilátorovou komorou se jmenovitými hodnotami pro čtyři pracovní body ventilátoru. Průtoky vzduchu ze simulace byly ve všech případech o cca 25 % nižší než údaje výrobce ventilátoru. Dalším krokem tak bude provedení vlastního měření průtoku a také simulace proudění ventilátorovým kolem při použití metody Sliding Mesh.



Obr. 5 *Rychlostní pole ve ventilátorové komoře*



Obr. 6 *Vektory rychlostí v řezu ventilátorovým kolem*

ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo informovat o současných postupech při tvorbě geometrie a numerické sítě modelů zařízení techniky prostředí pro CFD simulace. Tyto postupy byly ukázány na příkladu numerické studie proudění vzduchu ventilátorovou komorou sestavné klimatizační jednotky ALTEKO Tango 4, od přípravy geometrie úlohy, přes tvorbu numerické sítě, až po následnou CFD simulaci s užitím modelu MRF pro vliv rotace oběžného kola.

Studie vychází z objemové geometrie komory, která byla vytvořena v programu SolidWorks konstruktérem klimatizační jednotky. Dodaná geometrie byla importována do programu ANSYS SpaceClaim a optimalizována pro použití v CFD simulaci. Následně byla převedena na povrchovou síť z trojúhelníků a zasíťována polyedrální objemovou sítí. Pro tvorbu sítí byl využit nástroj ANSYS Fluent Meshing. CFD simulace proudění a následné zpracování výsledků bylo řešeno v programu ANSYS Fluent pro čtyři stanovené pracovní body ventilátoru.

Prezentované výsledky jsou součástí probíhajícího projektu a budou využity jako východisko pro další zpřesňující analýzy a následnou optimalizaci ventilátorové komory.

LITERATURA

[1] Použité obrázky těles: Wikimedia Commons

[2] SHIH, T., LIOU, W., SHABBIR, A., YANG, Z., and ZHU J. A new eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. *Comput. Fluids*, vol. 24: 227 – 238, 1995.

[3] ANSYS Inc. *ANSYS Fluent User's Guide*. USA: ANSYS Inc., 2013.

SEZNAM OZNAČENÍ

k	kinetická energie turbulence	$[m^2/s^2]$
ε	rychlost disipace kinetické energie turbulence	$[m^2/s^3]$
ω	specifická rychlost disipace	[1/s]

PODĚKOVÁNÍ

Tato studie byla řešena za finanční podpory Evropské unie, Evropského fondu pro regionální rozvoj, v rámci projektu Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurence-schopnost č. CZ01.1.02/0.0/0.0/15_019/0004577 "Sestavné klimatizační jednotky".