

OBSAH

VÝVOJ LOKÁLNÍ VĚTRACÍ JEDNOTKY S TERMOELEKTRICKÝMI MODULY PRO ÚPRAVU TEPLoty VZDUCHU	4
Daniel Adamovský, Martin Kny, Vojtěch Mazanec, Kateřina Roškotová, Jan Vitouš	
ADSORPČNÍ ODVLHČOVAČE DST SEIBU GIKEN PRO EXTRÉMĚ NÍZKÉ HODNOTY VLHKOSTI. 11	
Petr Andres	
NĚMECKÝ ÚŘAD BAFA PODPORUJE FINANČNÍMI PŘÍSPĚVKY NEPŘÍMÉ ADIABATICKÉ CHLAZENÍ.....16	
Petr Andres, Frank Bendorf	
DESET LET PROVOZU NÁRODNÍ TECHNICKÉ KNIHOVNY	21
Ing. Jaroslav Bambous	
MOŽNOSTI STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH AKUSTICKÝCH A HYDRAULICKÝCH PARAMETRŮ PRVKŮ VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ	26
Pavel Drábek, Stanislav Sehnálek, Martin Zálešák	
VLIV UŽIVATELŮ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V OBYTNÝCH BUDOVÁCH	33
Lada Hensen Centnerová	
EKODESIGN VĚTRACÍCH JEDNOTEK.....	38
Ing. Jaroslav Chlup	
PŘÍSTUP KE VZDUCHOTĚSNOSTI A VĚTRÁNÍ BUDOV V ZAHRANIČÍ	45
Jiří Karásek, Jakub Kvasnica	
TEPELNĚ VLHKOSTNÍ PROBLEMATIKA KLIMATIZOVANÉ HISTORICKÉ BUDOVY	51
Ing. Petr Kotek, Ph.D., Ing. Jan Antonín, Ph.D., Ing. Matouš Juráň, Bc. Dominik Čákl	
ADAPTIVNÍ VĚTRÁNÍ: NUMERICKÝ MODEL, JEHO EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ A MOŽNOST POUŽITÍ V PRAXI	58
Michala Lysczas, Karel Kabele	
NEPODAŘENÁ REKONSTRUKCE VĚTRÁNÍ KUCHYNĚ V ZÁKLADNÍ ŠKOLE.....	65
Ing. Miroslav Machálek	
VAZBA MEZI RYCHLOSTÍ VĚTRU A TEPLOTOU VENKOVNÍHO VZDUCHU	70
Luděk Mareš	
OHŘEV VENKOVNÍHO ČERSTVÉHO VZDUCHU TEPEM Z VÝROBY CHLADU V KCP PRAHA	75
Ing. Karel Matějček	
KLIMATIZACE BUDOV - 70. LÉTA MINULÉHO STOLETÍ -OBCHODNÍ DŮM DRUŽBA V PRAZE	86
Ing. Jiří Petlach st.	
AKTUÁLNÍ STAV POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB S VÝHLEDEM DO BUDOUCNOSTI	95
Jiří Pokorný, Lenka Brumarová, Horst Gondek, Marianna Tomášková, Vladimír Vlček	
HLUČNOST DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ TKANINOVCH VYÚSTEK	100
Zdeněk Příhoda, Tomáš Trávníček, Michal Bureš	
POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB A VYUŽITÍ HOŘLAVÝCH CHLADIV V BUDOVÁCH.....	105
Marie Rusinová, Marian Formánek	
MĚŘENÍ V UNIVERZÁLNÍ KOMPENZOVANÉ KALORIMETRICKÉ KOMOŘE	111
Jan Skovajsa, Pavel Drábek, Stanislav Sehnálek, Martin Zálešák	
SPOTŘEBA ENERGIE, PROVOZOVÁNÍ A COMMISSIONING BUDOV	120
Jakub Šimek, Miloš Lain	

EXPERTNÍ SYSTÉM PRO ANALÝZU VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK V PRAXI.....	127
Jan Šíroky, Ondřej Nehasil, Vojtěch Mazanec, Lucie Dobiášová, Daniel Adamovský	
REKONSTRUKCE VZDUCHOTECHNIKY VÝROBNÍ HALY PO ŠEDESÁTI ŠESTI LETECH	133
Ladislav Tintěra, Jan Pavlíček	
ZAŘÍZENÍ LABORATOŘE TECHNIKY PROSTŘEDÍ VE ZLÍNĚ.....	139
Martin Zálešák, Stanislav Sehnálek, Pavel Drábek, Jan Skovajsa, Petr Polách, Vladimír Venhoda, Petr Polách ml.	
VÝVOJ FASÁDNÍ TERMOELEKTRICKÉ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY PRO AUTONOMNÍ MODUL LEHKÉHO OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ	149
Vojtěch Zavřel, Tomáš Matuška, Vladimír Zmrhal, Petr Slanina	
ROVNOTLAKÉ ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ A MOŽNOSTI REALIZACE VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ V OBYTNÝCH BUDOVÁCH A POBYTOVÝCH PROSTORÁCH.....	155
Ing. Zdeněk Zikán	
KONCEPT VĚTRÁNÍ – NUTNOST NEBO ZBYTEČNOST?	165
Vladimír Zmrhal	
VÝKONOVÉ PARAMETRY A ASPEKTY NÁVRHU VENTILÁTOROVÝCH KONVEKTORŮ.....	170
Vladimír Zmrhal, Filip Cizner	
FIREMNÍ PŘÍSPĚVKY	
EC VENTILÁTORY – JSOU SKUTEČNĚ ZELENĚJŠÍ?	178
Elektro-system-technik s. r. o.	
POKROČILÉ TYPY ZKOUŠEK NEJEN PRO KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY	180
Ing. Petr Vávra, Ph.D.	
JANKA RADOTÍN TRADIČNÍ VÝROBCE VZT JEDNOTEK, OVĚŘOVÁNÍ PARAMETRŮ A FACTORY TESTY PRO ZÁKAZNÍKY	184
Ing. Radka Čapková	
CHLADIVOVÝ KLIMATIZAČNÍ SYSTÉM HAIER 5. GENERACE – MRV 5	188
Marek Begeni	
EFEKTIVNÍ PROTIMRAZOVÁ OCHRANA VÝMĚNÍKU ZZT A VÝKONOVÁ REZERVA OHŘÍVAČE	193
Ing. Petr Žemlička.....	
ZEHNDER, TECHNOLOGICKÁ ŠPIČKA V OBORU ŘÍZENÉHO VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ TEPLA....	198
PROČ VŮBEC SLEDOVAT KVALITU VNITŘNÍHO VZDUCHU – PROTRONIX	203

VÝVOJ LOKÁLNÍ VĚTRACÍ JEDNOTKY S TERMoeLEKTRICKÝMI MODULY PRO ÚPRAVU TEPLoty VZDUCHU

Daniel Adamovský¹, Martin Kny¹, Vojtěch Mazanec¹, Kateřina Roškotová¹, Jan Vitouš¹

¹ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov

daniel.adamovsky@fsv.cvut.cz

ANOTACE

Príspevok predstavuje technické riešenie pokročilé lokálnej vetracích jednotky, ktorá využíva výmenník s termoelektrickými modulmi pre úpravu teploty čerstvého vzduchu. Prínos riešenia je doložený výsledky laboratorných meraní a jsou diskutovány možnosti využití technologie termoelektrických modulů v systémech větrání.

ÚVOD

Termoelektrické moduly (TEM) využívají Peltiérovu jevu, kdy procházející proud dvěma materiálově rozdílnými (typicky bismut a tellur) sériově spojenými vodiči vzniká rozdíl teplot. Tento jev je poměrně slabý, a proto se používají moduly tvořené několika desítkami až stovkami těchto spojů vhodně uspořádanými do deskové součástky, kde jedna strana se průchodem proudu zahřívá a druhá ochlazuje.

V posledních letech došlo k rapidnímu růstu počtu materiálových řešení a výkonu těchto modulů při současném poklesu jejich ceny. Pro univerzální vlastnosti termoelektrických modulů nalezneme jejich aplikace od automobilového průmyslu, přes budovy, přístroje a zařízení, až po kosmické systémy [1]. Zuazua-Ros et al. [2] rozděluje využití TEM v budovách do dvou skupin na integrované systémy v obálce budovy a neintegrované. Publikace přináší aktuální přehled výsledků předchozích studií a ilustruje široké možnosti TEM v budovách.

V systémech větrání a klimatizace nalezneme uplatnění TEM především v termoelektrickém chlazení. Využití pro ohřev je výrazně méně zastoupené. Jednou z nejcitovanějších aplikací využití TEM ve větracích jednotkách je výsledek práce týmu z Hunan University [3], kteří navrhli a publikovali výsledky měření malé větrací jednotky s dvojicí výměníků z nichž jeden obsahuje TE moduly v teplosměnné ploše.

Dominantní vlastností významné většiny publikovaných řešení je, že jsou stále ve fázi experimentálních zařízení. Problémem je velmi nízká účinnost TEM silně závislá na provozních podmínkách.

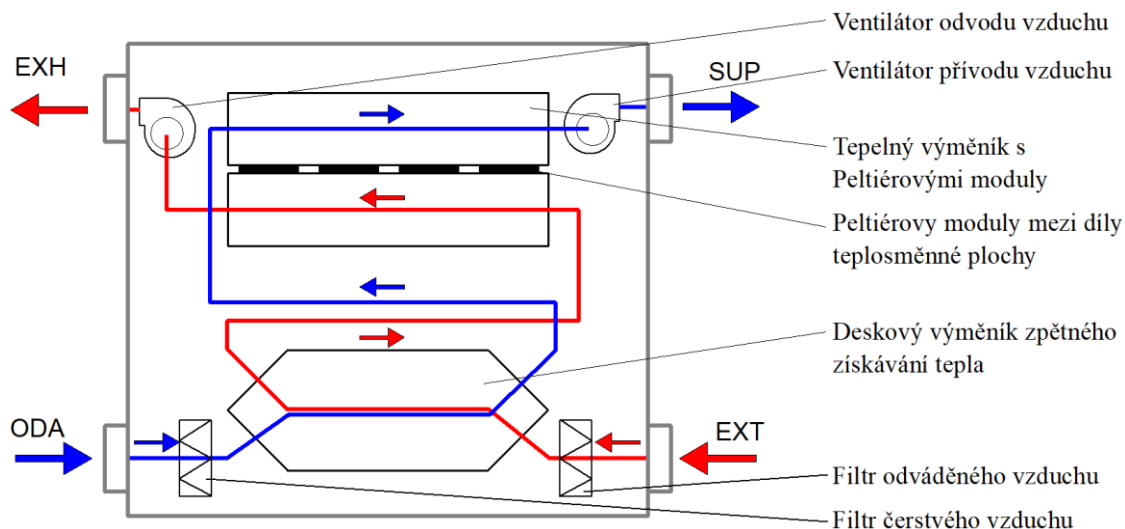
V následujícím textu je představené slibné řešení větrací jednotky využívající TEM pro celoroční úpravu teploty větracího vzduchu. Cílem článku je představit technické možnosti i úskalí této technologie.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Představované řešení větrací jednotky termoelektrickými moduly je zařízení pro lokální větrání jednotlivých místností. Zaměřením je vhodná především pro rekonstrukce budov a typickou cílovou aplikací jsou byty v bytových domech. Navržený koncept (obr. 1) představuje zařízení vybavené zpětným získáváním tepla (ZZT) a výměníkem s TEM pro řízení teploty přiváděného vzduchu bez nutné podpory jiných systémů TZB (vytápění a chlazení).

Deskový výměník ZZT plní vedle obvyklé funkce i roli snížení teplotního rozdílu mezi proudy čerstvého (ODA) a odváděného (EXT) vzduchu, aby výměník s TEM (Peltiérovými) moduly pracoval s co možná nejnížším rozdílem teplot. Oba výměníky jsou koncipované jako protiproudé (deskový částečně). Jednotka je dále vybavená dvěma ventilátory s EC motory pro

přívod a odvod vzduchu a dále dvojicí filtrů atmosférického vzduchu. Součástí může být i termoelektrický předehřev venkovního vzduchu před výměníkem ZZT (není vyznačeno na obr. 1).



Obr. 1 Schéma koncepce větrací jednotky s termoelektrickými moduly.

Výměník s TEM má teplosměnnou plochu tvořenou hliníkovými chladiči v přímém kontaktu s moduly TEC1-12715 [4] přes teplovodivou pastu zajišťující celoplošný dotyk obou povrchů. Elektrické zapojení 8 ks modulů je ve dvou paralelních větvích 4 ks v sériovém zapojení. Výkon zdroje napájení je řízený.

Jednotka využívá výhody termoelektrických modulů, kdy lze pouhou změnou kladného a záporného pólu zaměnit stranu modulu ohřívající za chladiči a naopak. Tím je možné rychle přecházet mezi požadavky na ohřev nebo chlazení větracího vzduchu.

METODIKA MĚŘENÍ

Funkční vzorek větrací jednotky byl podroben měření v laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Jednotka byla připojena na testovací linku pro větrací jednotky, která zajistila na vstupech dva proudy vzduchu s řízenou teplotou, relativní vlhkostí a průtokem vzduchu. Experimentálně byly prověřeny stavy reprezentující letní a zimní provoz (tab. 1).

Tab. 1 Experimentálně prověřované stavy větrací jednotky s TEM.

Provozní stav	Průtok vzduchu [m ³ /h]	Teplota vzduchu ODA [°C]	Teplota vzduchu EXT [°C]	Elektrický proud [A]
Zimní	50	-5,5; 0; 7	21	1,5; 3; 5
Letní	50	28,5; 31,5	24,5	1,5; 3; 5

Každá z 15 kombinací měřených stavů uvedených v tab. 1 představuje min. 30 minutový rovnovážný stav, při kterém byla sbírána měřená data. Podmínkou správnosti dat byla změna jakékoliv z měřených teplot do 0,2 K, relativních vlhkostí do 3 % a průtoků vzduchu do 5 %. Tepelná bilance sděleného tepla mezi oběma proudy vzduchu nesměla vykazovat rozdíl větší než 10 %. Za rovnovážný stav splňující tuto podmínku byla data průměrována.

Pro každý stav byl měřen elektrický příkon $P_{el,TEM}$ výměníku s TE moduly vč. napájecího zdroje a elektrický příkon $P_{el,AHU}$ celé větrací jednotky zahrnující i ventilátory.

Z vypočteného tepelného toku a elektrického příkonu byl stanoven topný faktor COP pro stavy ohřevu vzduchu a chladicí faktor EER pro stavy chlazení vzduchu. Oba jsou rozlišeny podle příslušných výkonů a příkonů pro samotný výměník s TE moduly (COP_{TEM} , EER_{TEM}) a celek větrací jednotky (COP_{AHU} , EER_{AHU}). Do celku větrací jednotky se započítává i vliv ZZT.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Pro příklady stavů reprezentujících zimní a letní provoz jsou výsledky uvedené v tab. 2. Výsledky zahrnují především výkon výměníku s TEM v závislosti na elektrickém proudu, jeho vliv na celkový tepelný výkon větrací jednotky a současně elektrický příkon pro daný stav. Elektrický příkon zahrnuje i podpůrná zařízení jednotky.

K výkonovým hodnotám jsou dopočteny topné a chladicí faktory samotného výměníku s TEM a celé jednotky.

Tab. 2 Výsledky experimentálního měření větrací jednotky s TEM.

proud	Sdělený tok v ZZT	Výkon TEM výměníku	Celkový výkon jednotky	Příkon TEM výměníku	Příkon jednotky	Topný faktor TEM výměníku	Chladicí faktor TEM výměníku	Topný faktor větrací jednotky	Chladicí faktor větrací jednotky	Teplota přiváděného vzduchu
I	Q_{ZZT}	Q_{TEM}	Q_{AHU}	$P_{el,TEM}$	$P_{el,AHU}$	COP_{TEM}	EER_{TEM}	COP_{AHU}	EER_{AHU}	t_{e2}
[A]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[-]	[-]	[-]	[-]	[°C]
Zimní stavy										
Teplota vzduchu v interiéru (EXH) 21 °C / vzduchu venkovního (ODA) -5,5 °C										
1,5	353,5	35,5	389,0	19,5	46,8	1,8	-	20,0	-	17,5
3,0	345,0	135,3	480,3	74,5	108,9	1,8	-	6,4	-	22,8
5,0	331,5	311,2	642,7	213,4	266,9	1,5	-	3,0	-	32,6
Teplota vzduchu v interiéru (EXH) 21 °C / vzduchu venkovního (ODA) 0 °C										
1,5	287,5	45,7	333,2	19,4	46,6	2,4	-	17,2	-	20,0
3,0	282,4	143,8	426,2	75,9	110,5	1,9	-	5,6	-	25,4
5,0	277,4	318,0	595,3	215,6	269,4	1,5	-	2,8	-	35,5
Teplota vzduchu v interiéru (EXH) 21 °C / vzduchu venkovního (ODA) 7 °C										
1,5	203,0	50,7	253,7	19,1	46,2	2,7	-	13,3	-	21,8
3,0	197,9	160,7	358,6	76,0	110,7	2,1	-	4,7	-	28,0
5,0	197,9	345,0	542,9	216,6	270,7	1,6	-	2,5	-	38,9
Letní stavy										
Teplota vzduchu v interiéru (EXH) 24,5 °C / vzduchu venkovního (ODA) 28,5 °C										
1,7	60,9	51,6	116,7	22,6	50,7	-	2,3	-	5,2	21,6
3,0	60,9	89,8	155,6	76,1	110,8	-	1,2	-	2,0	19,3
5,0	54,1	123,1	181,0	214,1	267,7	-	0,6	-	0,8	17,7
Teplota vzduchu v interiéru (EXH) 24,5 °C / vzduchu venkovního (ODA) 31 °C										
1,5	93,0	38,3	133,6	19,2	46,3	-	2,0	-	7,0	23,4
3,0	94,7	80,7	178,4	75,3	109,9	-	1,1	-	2,4	20,8
5,0	91,3	114,8	209,7	209,9	262,6	-	0,5	-	1,0	18,8

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Z výsledků měření je patrná silná závislost všech výkonových parametrů na elektrickém proudu, který prochází TE moduly. Přehled hlavních výsledků uvádí grafy v obr. 2 a 3.

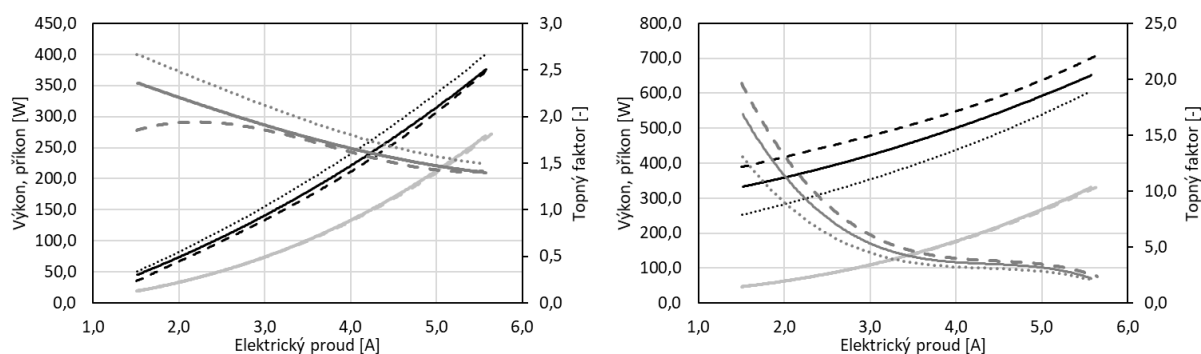
Ve stavech reprezentujících zimní provoz, topný výkon výměníku s TEM v intervalu elektrického proudu od 1,5 do 5 A strmě roste s malými rozdíly mezi jednotlivými stavy od 50 do 400 W (obr. 2 vlevo). Vysoký topný výkon výměníku je podmíněn i tepelným tokem z ochlazované strany termoelektrických modulů v proudu odváděného vzduchu.

Podle předpokladů roste s proudem i elektrický příkon, průběh však není lineární. Zřejmý je zanedbatelný rozdíl mezi stavy. Je to dáno tím, že teploty čerstvého vzduchu za výměníkem ZZT se sblíží a tudíž nevznikají na samotných TE modulech rozdílné teplotní stavy, které by ovlivnili například elektrický odpor TEM. Výměník ZZT vhodně plní funkci teplotní stabilizace.

S ohledem na průběh tepelného výkonu a elektrického příkonu TEM výměníku s rostoucím proudem COP_{TEM} klesá. Obecně platí, že při vyšších teplotách čerstvého vzduchu je COP_{TEM} vyšší a v intervalu proudů 1,5 až 3 A je rozdíl COP_{TEM} mezi stavy patrný.

Z pohledu celé větrací jednotky výše popsané trendy platí (obr. 2 vpravo). Přidávají se však vlivy výměníku ZZT a ventilátorů na celkovou bilanci. Z toho vyplývají zřetelnější rozdíly v topném výkonu mezi jednotlivými stavy. Rovněž průběh COP_{AHU} vykazuje výrazný pokles v intervalu do 3 A.

Z provozního hlediska lze prostřednictvím TEM výměníku dosáhnout teplot čerstvého vzduchu v zimě kolem 32 °C při teplotách pod bodem mrazu a do 39 °C při teplotách nad bodem mrazu.



Obr. 2 Průběh veličin v zimním provozu pro výměník s TEM (vlevo) a pro větrací jednotku (vpravo), tečkovaná +7 °C, plná 0 °C, čárkovaná -5,5 °C; černá topný výkon, tmavě šedá topný faktor; světle šedá elektrický příkon (pozn. Zakřivení křivky COP nad 5 A je dáno stupněm polynomu interpolace, hodnoty nejsou platné).

Ve stavech reprezentujících letní provoz je chladicí výkon TEM výměníku výrazně nižší než topný v zimním provozu (obr. 3 vlevo). Chladicí výkon s rostoucím proudem také roste, avšak nikoliv lineárně a v průběhu lze identifikovat maximum křivky (při dané konfiguraci přibližně 5,5 až 6 A). Příčinou je tepelný tok sdílený napříč výměníkem z teplé strany v proudu odváděného vzduchu, který s rostoucím proudem také roste.

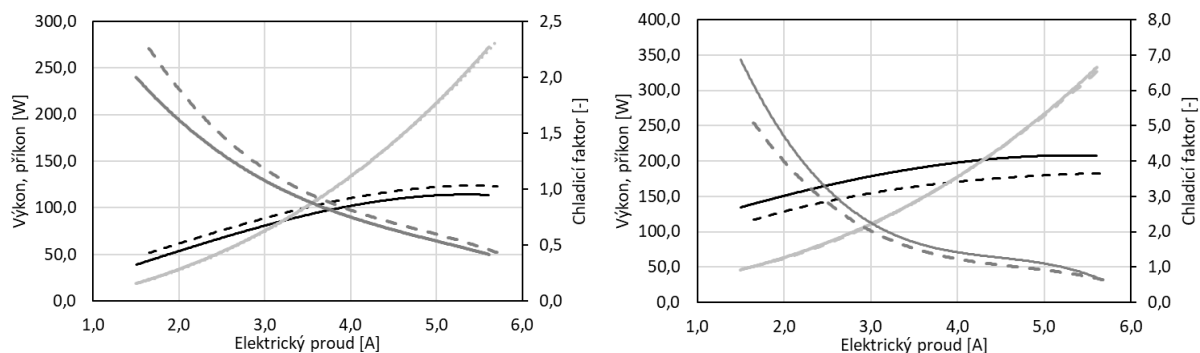
Mezi provozními stavy jsou patrné vyšší rozdíly a citlivost na provozní podmínky je zřetelnější než v zimních stavech. Přesto je chladicí výkon při měřeném průtoku vzduchu zajímavý a dosahuje až 120 W.

Nárůst elektrického příkonu v rozsahu proudů je podobný jako v zimním provozu. Obecně by hodnoty byly mírně vyšší s ohledem na vyšší provozní teploty termoelektrických modulů, stalo by se tak až při proudech výrazně převyšujících uvažovaný interval (maximální proud využitého TEM je 15 A). Mezi oběma letními stavy jsou rozdíly opět zanedbatelné.

Výsledný chladicí faktor EER_{TEM} je podle předpokladu nižší než COP_{TEM} při stejných proudech. Hodnoty EER_{TEM} při proudech nad 3,8 A klesají pod 1,0, což je ve většině provozních stavů hranice, kdy dává smysl zařízení provozovat, ostatně výkon pro vyšší proudy je vyšší pouze o přibližně 20 %.

Z pohledu celé větrací jednotky se vlivem zpětného získávání chladu ve výměníku ZZT hranice $EER_{AHU} > 1$ posouvá k 4,5 až 5 A. Příčinou je vyšší užitný chladicí výkon při mírně zvýšeném příkonu (obr. 3 vpravo).

Z pohledu větrané místnosti může větrací jednotka s TEM zajistit teplotu větracího vzduchu až 18 °C při venkovní teplotě 31 °C. Tím zajistí odvod tepelné zátěže větráním a přispěje k odvodu zátěže místnosti.



Obr. 3 Průběh veličin v letním provozu pro výměník s TEM (vlevo) a pro větrací jednotku (vpravo), plná 31 °C, čárkovaná 28,5 °C; černá chladicí výkon, tmavě šedá topný faktor; světle šedá elektrický příkon. (pozn. viz obr. 2)

Jelikož TEM je sám tepelně vodivou součástí, je klíčové pro zvýšení efektivity v zimním i letním provozu zajistit intenzivní odvod tepla z termoelektrického modulu do vzduchu. Vyšší význam má tato úloha pochopitelně pro letní provoz.

Vše se odvíjí od konstrukce teplosměnné plochy nejen na rozhraní s proudícím vzduchem, ale i na styku s termoelektrickým modulem. Je důležité si uvědomit, že termoelektrický modul sdílí vyšší desítky až nízké stovky wattů tepelného toku z plochy pár desítek cm². Proto je nutné zajistit co největší teplosměnnou plochu a přestupní charakteristiky sdílení tepla konvekcí a ideální kontakt pro vedení tepla do zvětšené teplosměnné plochy. Pokud toto není zajištěno, zvýší se riziko poškození TEM vysokými teplotami.

I přes nízkou účinnost TEM a její silnou závislost na podmínkách provozního stavu, je možné tyto moduly využít i v aplikaci nuceného větrání. Zásadní pro efektivní provoz je však řízení, které bude v průběhu ročních podmínek zajišťovat provoz TEM co nejbližší optimu. Na této úloze náš tým nyní pracuje.

ZÁVĚR

V předloženém článku byla prezentována experimentálně změřená data větrací jednotky vybavené výměníkem s termoelektrickými moduly. Byla prokázána proveditelnost tohoto řešení a bylo poukázáno na specifické chování a požadavky takového výměníku.

Větrací jednotka s TEM výměníkem může rozšířit svou působnost pro vnitřní prostředí větrané místnosti jako teplovzdušně větrací a vytápěcí jednotka a současně chladicí, která je schopna minimálně odvést tepelnou zátěž větracím vzduchem.

Ve vývoji provozně využitelného řešení je nyní potřeba vyřešit algoritmus řízení, který udrží provozní chování blízko optimálních stavů pro zajištění efektivního provozu termoelektrických modulů.

LITERATURA

- [1] TWAHA, S. et al. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65: 698 – 726, 2016.
- [2] ZUAZUA-ROS, A. et al. Investigation of the thermoelectric potential for heating, cooling and ventilation in buildings: Characterization options and applications, *Renewable Energy*, 131: 229 – 239, 2019.
- [3] LI, T. et al. Investigation of prototype thermoelectric domestic-ventilator, *Applied Thermal Engineering*, 29(10): 2016 – 2021, 2008.
- [4] TEC1-12715 datasheet, <http://www.thermonamic.com.cn/TEC1-12715-English.PDF>, citováno 4.9.2019.

SEZNAM OZNAČENÍ

<i>COP</i>	topný faktor	[-]
<i>EER</i>	chladicí faktor	[-]
<i>I</i>	elektrický proud	[A]
<i>P</i>	elektrický příkon	[W]
<i>Q</i>	sdělený tepelný tok	[W]
<i>t</i>	teplota vzduchu	[°C]

indexy:

AHU	větrací jednotka
el	elektrický
e2	přiváděný (venkovní) vzduch na výstupu z větrací jednotky
TEM	termoelektrický výměník
ZZT	zpětné získávání tepla

Příspěvek byl zpracován za podpory projektu TAČR TK01020180 Inovativní větrací jednotka s termoelektrickými moduly pro řízení teploty vzduchu.

ADSORPČNÍ ODVLHČOVAČE DST SEIBU GIKEN PRO EXTRÉMNĚ NÍZKÉ HODNOTY VLHKOSTI

Petr Andres

Flair a. s.

ANOTACE

Od poloviny osmdesátých let je DST Seibu Giken předním světovým výrobcem adsorpčních odvlhčovačů. Technologie zachytávání molekul vodní páry na struktuře silikagelu na nosiči z keramického papíru ve tvaru voštinové struktury našlo své uplatnění například v programu NASA. Díky splnění přísných podmínek se technologie vyvinutá v Seibu Giken etablovala i v dalších oborech jako jsou potravinářství, farmacie, elektrotechnický průmysl, výroba plastů, odvlhčování zimních stadionů a chladných prostorů např. úpraven vody. Pro potřeby speciálních aplikací jako jsou například zkušební klimatické komory nebo výroba baterií je ale zapotřebí dosahovat hodnot vlhkosti vzduchu daleko pod obvyklými hodnotami.

KDY STAČÍ KONDENZAČNÍHO ODVLHČOVÁNÍ

Snižování obsahu vodní páry ve vzduchu je poměrně komplexní proces. Kondenzační odvlhčovače jsou spolehlivou a investičně méně náročnou kategorií zařízení, která funguje velmi dobře za standardních podmínek prostředí. Vzhledem k obvyklé povrchové teplotě výparníku v rozmezí 3 až 5 °C klesá výrazně jejich účinnost při teplotách pod 16 až 12 °C, při nižších teplotách dochází k namrzání výparníku a pokud nechceme dopustit poškození výměníku, musíme zařízení dočasně odstavit z provozu nebo obětovat část použitého výkonu na aktivní odmrazování. Buď, jak buď s kondenzačním odvlhčovačem na hodnoty relativní vlhkosti pod 40 % r. v. (při cca 20 °C) je lépe raději zapomenout. Z tohoto důvodu je nejčastější použití kondenzačních odvlhčovačů pro vysoušení staveb při stavebních pracích, rekonstrukcích a sanacích. Za ideální lze považovat použití těchto odvlhčovačů v prostorech s poměrně vysokou teplotou a vlhkostí jako jsou například bazény a lázeňské provozy. I zde jsou však limity dané vysokou teplotou vzduchu. Při teplotách nad 35 °C dochází k přetěžování kompresoru a zkracování jeho životnosti.

Vymrazovací systémy, které využívají podnulovou teplotu chladiče (glykol, čpavek, freony) je nutné z provozních důvodů konstruovat jako přepínací zdvojené a tím cena především větších zařízení výrazně narůstá.

ADSORPČNÍ ODVLHČOVÁNÍ

Výrazný posun v technologii odvlhčování přineslo v polovině padesátých a šedesátých let využívání materiálů se schopností pohlcovat vlhkost. Impulsem pro výzkum v této metody byly kosmické programy, které řešily problém kondenzace a namrzání vzdušné vlhkosti na přístrojovém vybavení za velmi nízkých teplot vesmírného prostoru.

Prvním materiálem používaným pro odvlhčování cestou pohlcování vlhkosti byl lithiumpchlorid. Vodní pára je na lithiumpchlorid vázána při chemické reakce, jedná se proto o absorpci. Poměrně brzy se však projevil jeho vážné slabiny: lithiumpchlorid není dokonale stálý, jeho kapacita při použití v prostředí s vysokou relativní vlhkostí je omezená a může dokonce docházet i k nežádoucímu samovolnému uvolňování vlhkosti. U lithiumpchloridu se navíc negativně projevuje i jeho agresivita vůči kovovým materiálům. Problematická je i otázka jeho zdravotní nezávadnosti při použití v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Tyto negativní vlastnosti používání lithiumpchloridu prakticky diskvalifikovaly.

V druhé polovině šedesátých let se proto pozornost obrací k silikagelu (chemické složení SiO_2) a jeho derivátům.

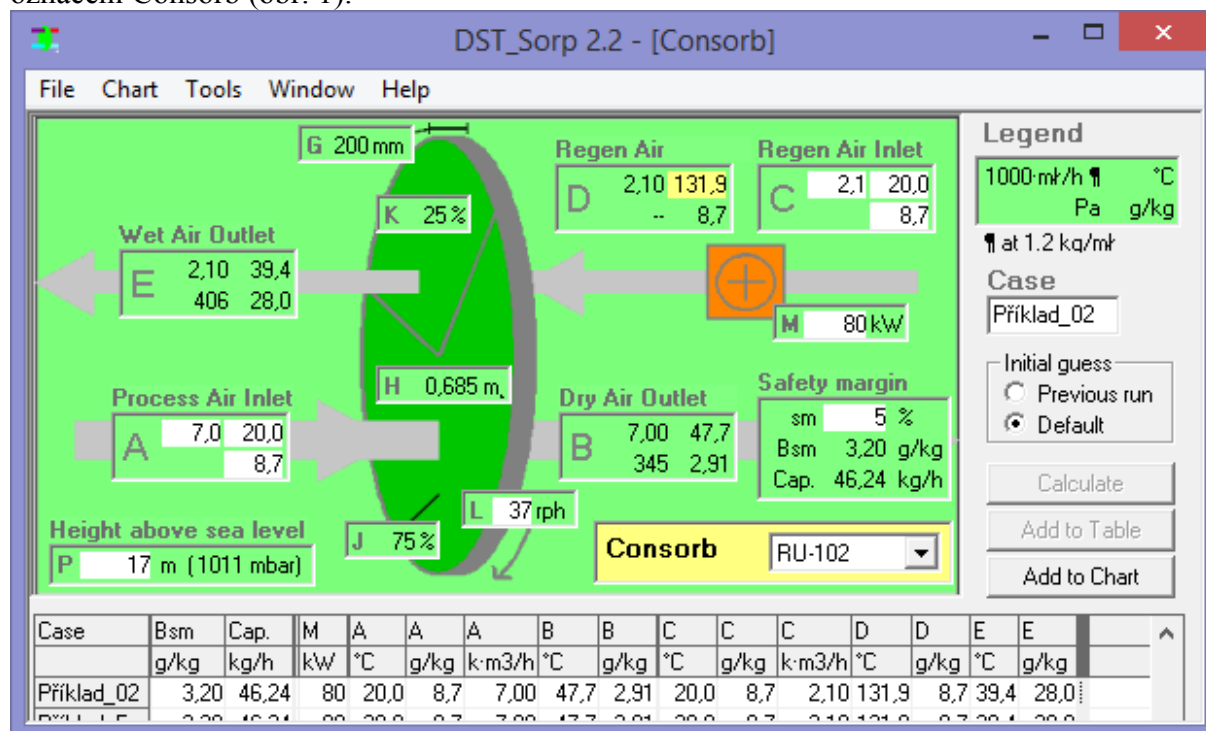
Vysoká pohltivost silikagelu byla v počátcích znevýhodňována problematickými mechanickými vlastnostmi. Ve firmě Seibu Giken pod vedením profesora Tošimi Kumi byly vyvinuty odvozeniny silikagelu, jejichž vlastnosti umožnily nanášení tenké vrstvy s vysokou odolností na nejrůznější nosné podklady, jako hliník, skelný laminát, papír nebo materiály na bázi organických polymerů. Seibu Giken dnes nejčastěji používá jako nosiče aktivního materiálu rotační výměník s voštinovou strukturou (podobu známá z tepelných rotačních výměníků pro klimatizační jednotky). Materiál voštinové matrice, tvořené střídavě vrstvou rovného a vlnitého pásu s výškou komory kolem 1,5 mm, se liší nejčastěji podle velikosti rotou a použití. Nejčastěji bývá používán hliník nebo papír impregnovaný organickými pryskyřicemi či keramikou. Na tento podklad je nanášena vrstva materiálu odvozeného od metalsilikagelu. Při teplotě regenerace silikagelu až 140 °C je nutná dostatečná odolnost nosné vrstvy.

Silikagelové materiály se používají nejenom pro eliminaci vzdušné vlhkosti, ale i k čištění vzduchu od organických látek (VOC – Volatile Organic Components). Změnou chemické skladby je možno ovlivnit mikrostrukturu povrchu aktivního materiálu a tím dosáhnout adsorpce pouze určitého typu organických plynů v závislosti na velikosti jejich molekuly. Pro tyto účely se používá i zeolit (chemické složení SiO_4), který využívá vyšší regenerační teplotu až 200 °C.

PRŮBĚH SNIŽOVÁNÍ VLHKOSTI ADSORBCÍ NA ROTORU SE SILIKAGELOVÝM ROTOREM

Zapojení Consorb

Plocha rotoru je rozdělena na dvě části – odvlhčovací a regenerační. Odvlhčovaný vzduch je někdy pod vlivem angloamerické literatury též označován jako procesní. Směr proudění odvlhčovaného (procesního) a regeneračního vzduchu má opačnou orientaci, jedná se tedy o stejný protiproud jako u tepelných rotorů. Pro toto schéma zapojení používá DST Seibu Giken označení Consorb (obr. 1).



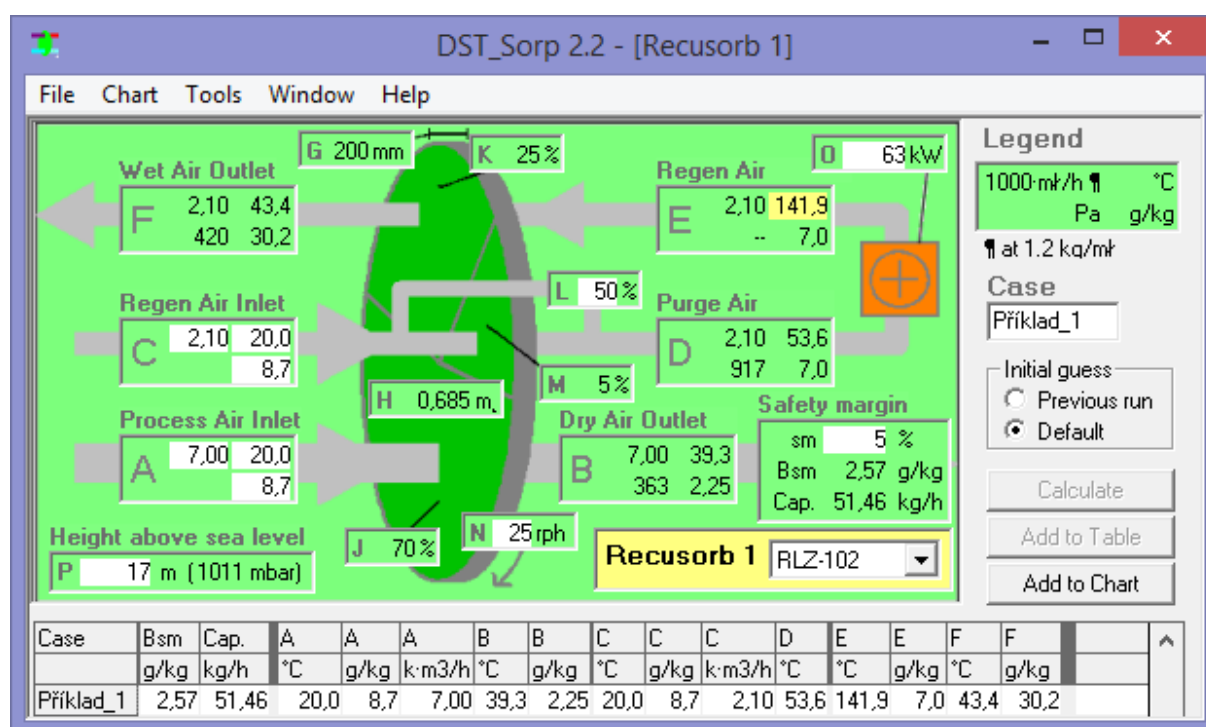
Obr. 1 Průběh odvlhčení při adsorbci na silikagelovém rotoru při zapojení Consorb

Procesní vzduch odevzdává molekuly vodní páry do silikagelu při průchodu odvlhčovacím sektorem, kde se zachycuje pomocí kapilárních sil ve sklípkovité struktuře aktivního materiálu.

Před vstupem do regenerační sekce rotoru je zařazen ohříváč (elektrický, parní, vodní, kombinovaný či plynový), který ohřívá vzduch na regenerační teplotu, při které se molekuly vodní páry uvolňují ze struktury silikagelu.

Zapojení Recusorb

Mezi regenerační a odvlhčovací sektor může být vložen i čistící sektor (purge sector), kterým vzduch proudí stejným směrem jako procesní vzduch a následně prochází ohříváčem a v protisměru vstupuje do regeneračního sektoru. Pro toto zapojení používá DST označení Recusorb (obr. 2).



Obr. 2 Průběh odvlhčení při adsorbci na silikagelovém rotoru při zapojení Recusorb

Zapojení Recusorb s čistícím sektorem má oproti Consorbu několik pozitivních účinků:

- Využití zpětného získání tepla pro předehřev vzduchu pro regeneraci – úspora energie
- Omezení teplotního zisku suchého vzduchu na výstupu z odvlhčovacího zařízení
- Snížení teploty rotoru při vstupu do odvlhčovacího sektoru zvyšuje účinnost adsorpce
- Vyšší účinnost odvlhčení a vyšší odvlhčovací kapacita

Tab. 1 Přehled rozdílných výkonových parametrů odvlhčovacích rotorů při zapojení Consorb a Recusorb o stejné velikosti a (průměr 1000 mm, šířka 200 mm) vstupních parametrech procesního i regeneračního vzduchu 20 °C / 8,7 g/kg

	Consortb	Recusorb
Procesní vzduch – vstup		
Průtok	2 000 m ³ /h	2 000 m ³ /h
Procesní vzduch – výstup		
Teplota	47,7 °C	39,3 °C
Měrná vlhkost	3,2 g/kg s. v.	2,57 g/kg s. v.
Relativní vlhkost (při 20 °C)	22,1 % r. v.	17,8 % r. v.
Odvhlčovací výkon	46,2 kg/h	51,5 kg/h
Příkon ohřivače	80 kW	63 kW
Regenerační teplota	132 °C	142 °C

Z uvedeného srovnání by mohlo vyplývat, že používání systému Consortb v podstatě nemá smysl. Při změně poměru ploch procesního a regeneračního sektoru (např. 60/40 %) je však toto zapojení řešením při nutnosti použít pro regeneraci nižší teplotu (např. topná voda 80/60 °C).

Obecným handicapem adsorbčních zařízení je ohřev suchého vzduchu na výstupu. I zde vychází díky čistícímu sektoru lépe systém Recusorb, ale i tak je v našem případě teplotní zisk bezmála 20 K (pro Consortb dokonce téměř 28 K). Jediným řešením tak bývá často doplnění chladiče za odvlhčovač.

JAK MNOHO SE LZE ADSORBCÍ ODVLHČIT?

Dobrou zprávou je, že adsorpce s klesající teplotou zvyšuje účinnost. Při zařazení chladicího výměníku před vstup procesního vzduchu do adsorbčního systému a snížením vstupní teploty na cca 10 °C lze se značnou jistotou dosahovat výstupní vlhkosti v rozmezí 1-1,5 g/kg. Tyto hodnoty jsou obvykle dostatečné pro aplikace v potravinářství nebo farmacii, nebudou však dostačující například pro výrobu Lion baterií nebo testovací komory. Pro některé technologie je ale zapotřebí dosahovat hodnot výrazně nižších. V těchto oblastech se již pro vyjádření vlhkosti vzduchu standardně používá teplota rosného bodu.

Tab. 2 Vybrané teploty rosného bodu a odpovídající měrná vlhkost vzduchu v g/kg

Teplota rosného bodu T _{dp} °C	-60	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
Měrná vlhkost g/kg	0,0055	0,076	0,23	0,63	1,6	3,8	7,6	14,6	27,1	48,7

Jak je patrné z uvedené tabulky, obsah vodní páry při T_{dp} -20 a -60°C se liší o 2 řády. I těchto hodnot lze ale pomocí adsorpce dosáhnout. Řešení každého projektu s takovými požadavky je ryze individuální záležitostí, přesto lze shrnout několik zásadních bodů pro tyto aplikace.

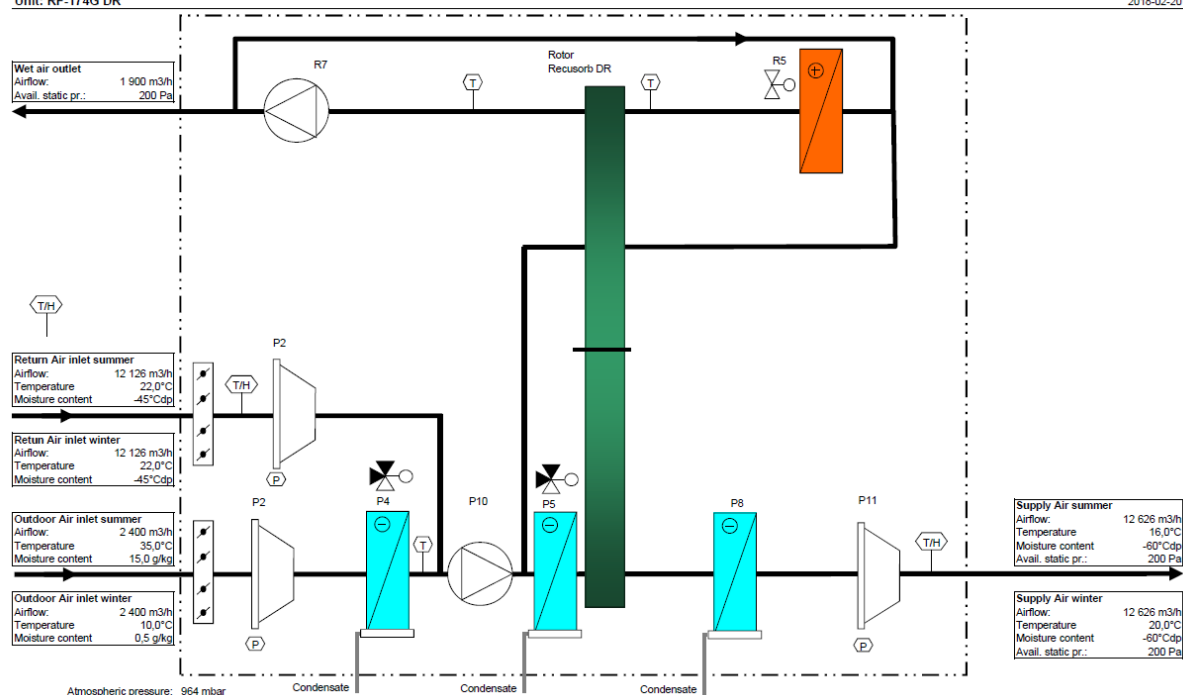
- Průlet molekul vodní páry aktivním materiálem musí být co nejdelší. Volí se proto rotory se zdvojenou šířkou a o nízkých otáčkách
- Snížit vlhkost procesního i regeneračního vzduchu předchlazením
- Pokud možno vyloučit čerstvý vzduch, pracovat pouze s cirkulačním vzduchem
- Celý systém koncipovat jako přetlakový a dostatečně těsný, včetně VZT potrubí
- Eliminovat vhodnou stavební konstrukcí difuzi vlhkosti z okolního prostředí
- Použití vysoce citlivých čidel pro měření sledovaných hodnot
- Nutnost režimových opatření a minimalizace pracovního prostoru (uzavřené dýchací systémy a odsávané skafandry, vstupy s přechodovými komorami, přetlakové pracovní stoly

Component layout

Project: Varta, offer 4060.3
Unit: RF-174G DR

DST
Seibu Giken

2018-02-20



Obr. 3 Schema zapojení odvlhčovacího systému pro prostředí s teplotou rosného bodu $T_{dp} = -60^{\circ}\text{C}$

LITERATURA

Zpracováno podle firemních materiálů DST Seibu Giken

NĚMECKÝ ÚŘAD BAFA PODPORUJE FINANČNÍMI PŘÍSPĚVKY NEPŘÍMÉ ADIABATICKÉ CHLAZENÍ

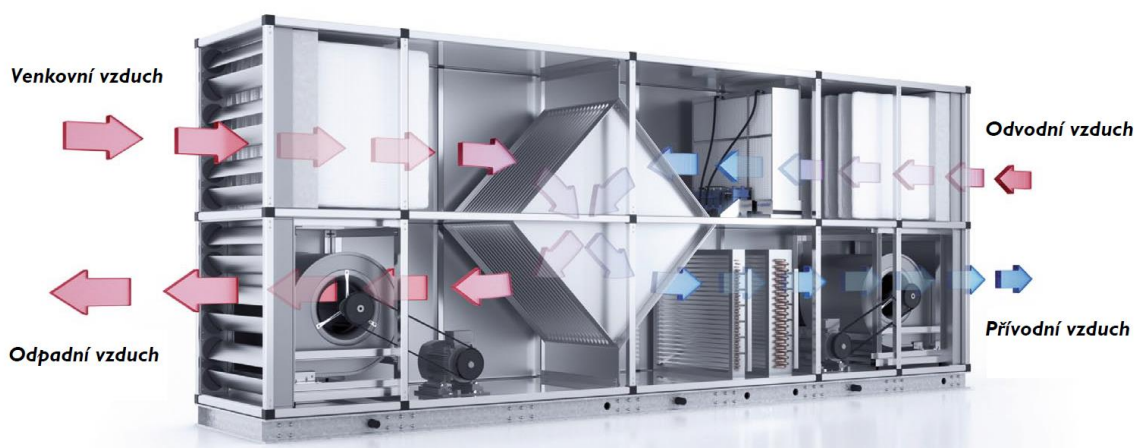
Petr Andres¹, Frank Bendorf²

¹Flair, a. s., ²Condair GmbH

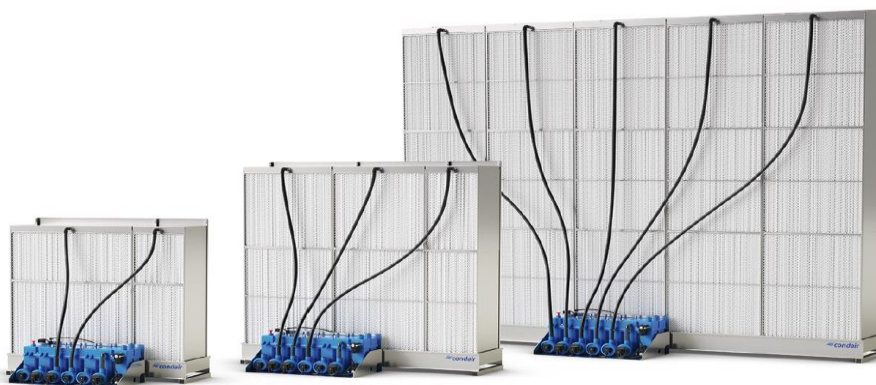
Od 1. ledna 2019 je odpařovací chlazení součástí nové verze směrnice o chlazení a klimatizaci spolkového úřadu BAFA a tím pádem umožňuje jako zařízení s přírodním chladivem získat finančního příspěvku, očekává mnoho odborníků z oboru výrazný nárůst využití této technologie chlazení vzduchu šetrné k životnímu prostředí.

Technologie odpařovacího chlazení

K provozu odpařovacího chlazení se používá zvlhčovací zařízení nainstalované před zpětným získáváním tepla ve směru proudění odvodního vzduchu VZT jednotky, které adiabaticky zvlhčuje odvodní vzduch co nejbližší stavu nasycení, tzn. co nejbližší hodnotě relativní vlhkosti 100 % (obr. 1 a 2).



Obr. 1

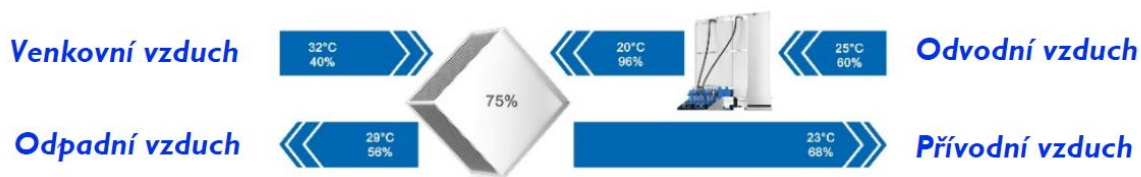


Obr. 2

Příklad použití systému odpařovacího chlazení na straně odvodního vzduchu VZT jednotky před deskovým výměníkem zpětného získávání tepla. V pravé části je podrobně znázorněno použité odpařovací zařízení s hydraulickou jednotkou.

Odpařovací zařízení na obrázku 2 (systém Condair ME) se skládá z paralelně uspořádaných zvlněných polyesterových lamel, které jsou seshora rovnoměrně zkrápěny upravenou vodou, která potom pomalu stéká dolů. Při proudění vzduchu přes odpařovací zařízení dochází ke zvlhčování odvodního vzduchu až na hodnotu 96 % RV. Díky tomuto adiabatickému zvlhčování klesá teplota odvodního vzduchu o 2,5 K na gram vody, která se do vzduchu odpaří.

Příklad je uveden na obrázku 3.



Obr. 3 Příklad účinnosti nepřímého odpařovacího chlazení

Předpoklady pro účinné odpařovací chlazení

Skutečná účinnost nepřímého odpařovacího chlazení v praxi závisí zejména na následujících parametrech:

- **Odvodní vzduch** lze o to intenzivněji zvlhčovat (až na cca 96 %) a tím více chladit, čím je teplejší a sušší.
- Čím vyšší je **koeficient teplotní účinnosti** (účinnost) zpětného získávání tepla, tím více energie může teplý venkovní vzduch předat do ochlazeného odvodního vzduchu. Od začátku roku 2018 podporuje nařízení o ekodesignu 1253/2014 ve všech VZT jednotkách použití zpětného získávání tepla s koeficientem teplotní účinnosti alespoň 73 % (68 % u uzavřených systémů).
- Při dobrých rámcových podmínkách (venkovní vzduch <30 °C, odvodní vzduch <25 °C, nízká vlhkost) lze prostřednictvím nepřímého odpařovacího chlazení dosáhnout **teploty přívodního vzduchu** v rozmezí 20 až 22 °C. Díky tomu již velmi často není nutné dodatečné mechanické chlazení vzduchu.
- Na základě možného přenosu zatíženého (vlhkého) odvodního vzduchu do přívodního vzduchu se ke zpětnému získávání tepla při použití odpařovacího chlazení doporučují těsné deskové výměníky nebo uzavřené systémy. Použití rotačních výměníků je nutné zkontrolovat kvůli pronikání vzduchu mezi stranami odvodního a venkovního vzduchu.

Výkony odpařovacího chlazení

K výpočtu výkonu a chladicí energie odpařovacího chlazení lze použít program „myCoolblue“ (www.mycoolblue.de) vyvinutý společností Condair GmbH.

Pomocí tohoto programu vypočítáme příklady, které zobrazí potenciály a výkony odpařovacího chlazení ve městech Postupim a Mnichov. Příklad je počítán pro VZT jednotku se vzduchovým výkonem 10 800 m³/h (3 m³/s), deskovým výměníkem zpětného získávání tepla (koeficient teplotní účinnosti 75 %), zvlhčováním odvodního vzduchu na hodnotu 95 %, rychlostí vzduchu 1,7 m/s, účinností sady ventilátoru s motorem 0,6 a provozní dobou 60 h týdně (3 120 h za rok). Výsledky výpočtů jsou shrnuty v tabulce 1.

Tab. 1 Výsledky příkladů výpočtů nepřímého odpařovacího chlazení (OCH) pro lokality Postupim a Mnichov při maximální vlhkosti odvodního vzduchu 60 %

	Postupim	Mnichov
Provozní doba OCHL	642 h/rok	573 h/rok
Celková chladicí energie	20 014 kWh/a	16 857 kWh/a
Mechanická chladicí energie	10 122 kWh/a	8 128 kWh/a
Chladicí energie OCHL + ZZT	9 892 kWh/a	8 729 kWh/a
Podíl OCHL + ZZT	49%	52%
Koeficient účinnosti	4,9	4,4
Výkon vodního chladiče		
Bez OCHL	76 kW	75 kW
S OCHL	70 kW	67kW

Úspory při použití odpařovacího chlazení

Jak velké úspory v eurech získáme díky použití odpařovacího chlazení vzduchu? Za tímto účelem se předpokládá, že použitá chladicí jednotka má koeficient sezónní energetické účinnosti 4,0. Když se díky odpařovacímu chlazení v Postupimi (60 % RV) ušetří 9 892 kWh/ath, odpovídá to elektrické energii $9\,892 : 4 = 2\,473$ kWh/ael (při 70 % RV ve srovnání s referenčním stavem $20\,014 \text{ kWh/a} - 5\,654 \text{ kWh/a} = 14\,360 \text{ kWh/ath} : 4 = 3\,590 \text{ kWh/ael}$). Při ceně elektrické energie 18 centů za kWh dojdeme k úspoře za elektrickou energii 445 €/rok (60 % RV) nebo 646 €/rok (70 % RV). Pokud zohledníme cyklus životnosti 15 let, získáme výslednou úsporu 6 675 € a 9 690 €. Další úspory poskytuje snížení jmenovitých výkonů použitých chladicích jednotek. V tomto případě se předpokládá, že každé snížení chladicího výkonu o 1 kW vede ke snížení investičních nákladů o 300 €. Veškeré úspory jsou pro oba výpočty uvedeny v tabulce 3 společně s částkami finančních příspěvků úřadu BAFA.

Nová směrnice o finančních příspěvcích v oboru chlazení a klimatizace

S účinností od 1. ledna 2019 zveřejnilo německé Spolkové ministerstvo financí novou verzi „Směrnice o finančních příspěvcích pro energeticky účinné chladicí a klimatizační zařízení s nehalogenovými chladivem v rámci pevně instalovaných systémů a v automobilech“, kterou má na starost Spolkový úřad pro hospodářství a kontrolu vývozu (BAFA, www.bafa.de). Podle této nové směrnice nyní získají finanční příspěvek pouze nová chladicí a klimatizační zařízení, která používají přírodní chladiva (propan, propen, izobutan, etan, amoniak, amoniak, CO₂, voda), a absorpční/adsorpční chladicí zařízení. Nově byly do směrnice o finančních příspěvcích zahrnuty také systémy nepřímého odpařovacího chlazení. Výše příspěvku na chladicí nebo klimatizační zařízení F (v eurech) se vypočítá podle vzorce

$$F = (A \cdot XB + C) \cdot X,$$

kde hodnota X představuje jmenovitý výkon zařízení (v kW) a hodnoty A, B a C jsou koeficienty konkrétních zařízení, které jsou definovány pro všechny jednotlivé chladicí systémy. Pro nepřímé odpařovací chlazení platí následující hodnoty: A = 3 567,45, B = -1,0788, C = 70,79. Chladicí výkon vygenerovaný odpařovacím chlazením X se počítá pro definované podmínky venkovního (32 °C a 40 % RV) a odvodního vzduchu (25 °C a 60 % RV) a použitý druh zpětného získávání tepla. Při zvlhčování odvodního vzduchu (25 °C, 60 % RV)

odpařovacím chlazením na hodnotu 96 % klesá teplota vzduchu přibližně na 20 °C. Při koeficientu teplotní účinnosti zpětného získávání tepla 75 % tak získáme následující chladicí výkon:

$$X = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \eta_{ZZT}$$

$$X = 3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 1,006 \text{ kJ}/\text{kgK} \cdot (32 - 20) \text{ K} \cdot 0,75$$

$$X = 32,6 \text{ kW}$$

Po dosazení této hodnoty do vzorce pro výpočet finančního příspěvku získáme následující výsledek:

$$K = (3\,567,45 \cdot 32,6 - 1,0788 + 70,79) \cdot 32,6 = 5\,018 \text{ €}$$

V tomto případě tak VZT jednotka získá bez ohledu na místo instalace a další provozní parametry paušální finanční příspěvek 5 018 €.

Shrnutí úspor

Provoz nepřímého odpařovacího chlazení vede k celkovým úsporám pro VZT jednotku uvedenou v příkladu, obě lokality, obě varianty vlhkosti (60 % a 70 %) a dobu používání 15 let, které jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Celkové úspory při provozu nepřímého odpařovacího chlazení po dobu 15 let na základě snížení spotřeby elektrické energie chladicí jednotky, nižší investice do chladicí jednotky (CHLJ) a finančního příspěvku od úřadu BAFA. Údaje uvedené v tabulce 3 ukazují, že použitím nepřímého odpařovacího chlazení lze při standardním provozu (vlhkost odvodního vzduchu 60 %) po dobu 15 let dosáhnout výrazných úspor převyšujících částku 13 000 €. Tyto úspory se dokonce zvýší na hodnotu 22 000 až 23 000 €, když je provozovatel připravený po několik hodin ročně akceptovat prostorovou vlhkost 70 %.

Úspory	Postupim	Postupim	Mnichov	Mnichov
	60% r. v.	70% r. v.	60% r. v.	70% r. v.
El. energie	6 675 €	9 693 €	5 892 €	8 548 €
Investice CHLJ	1 800 €	7 200 €	2 400 €	9 600 €
Příspěvek BAFA	5 018 €	5 018 €	5 018 €	5 018 €
Celkem	13 493 €	21 911 €	13 310 €	23 166 €

ZÁVĚR

Nepřímé odpařovací chlazení nabízí při snaze o snížení výkonu chladicích jednotek používaných k chlazení vzduchu ve VZT jednotkách významný ekologický i ekonomický potenciál. Odpařovací chlazení však není určeno k tomu, aby samo pokrylo chlazení budovy. Jako úplnou náhradu za chladicí jednotku ho lze využít pouze u malého množství projektů, například na chladných místech v letním období. Podíl odpařovacího chlazení na chladicí energii, která je za celý rok nutná k chlazení vzduchu, se většinou pohybuje v rozmezí 50 až 60 %. Z tohoto důvodu by se mělo na odpařovací chlazení nahlížet vždy jako na „základní ekologický systém předběžného chlazení venkovního vzduchu“, což je doporučováno i v několika aktuálních technických předpisech. Požadavek na pokrytí zbytkové a špičkové zátěže při chlazení a odvlhčování vzduchu přebírá chladicí jednotka, která má snížený výkon a tím pádem je cenově výhodnější. Dalším pozitivním aspektem jsou úspory emisí CO₂ díky snížené spotřebě elektrické energie chladicí jednotky. Podle německého Spolkového ministerstva

životního prostředí se jedná přibližně o 0,5 kg CO₂ za ušetřenou kWh elektrické energie. Z toho vyplývá, že například snížení potřebné chladicí energie chladicí jednotky (s koeficientem účinnosti 4) o 8 000 kWh/a odpovídá snížení spotřeby elektrické energie o 2 000 kWh/a a emisí CO₂ o 1 t/rok. I tento aspekt související s životním prostředím se stává u mnoha společností stále významnějším a vede k používání odpařovacího chlazení.

LITERATURA

[1] STAHL, Manfred. Dr. CCI Zeitung 02/2019

[2] CONDAIR GmbH, software „myCoolblue“, www.mycoolblue.de

DESET LET PROVOZU NÁRODNÍ TECHNICKÉ KNIHOVNY

Ing. Jaroslav Bambous

bambous@email.cz, tel. 603 182 376

ANOTACE

Budova Národní technické knihovny byla od samého začátku navržena a realizována pro účely technické knihovny a jako studovna. Objekt je železobetonová konstrukce s prosklenou fasádou a je vybaven unikátními technickými zařízeními jak v oblasti knihovní techniky, tak i v části zařízení techniky prostředí. Příspěvek popisuje vlastní objekt, a hlavně zkušenosti s desetiletým provozem stavby a jeho technického vybavení

ZÁKLADNÍ INFORMACE O OBJEKTU



Obr. 1 Budova NTK

Architekt – autor: Projektil architekti, s. r. o., R. Brychta, A. Halíř, O. Hofmeister, P. Lešek, spoluautor interiéru Hippos design Radim Babák, Ondřej Tobola

Generální projektant: Helika a. s.

Generální dodavatel: Sdružení Metrostav a. s. a OHL ŽS a. s.

Dodavatel části TZB: Instalace Praha s. r. o. a OHL ŽS a. s.

Celkové náklady na stavbu vč. vybavení činily 2.2 mld Kč.

Stavba NTK byla zahájena na podzim 2006, hrubá stavba dokončena v prosinci 2008. Knihovna byla pro veřejnost otevřena 9. 9. 2009.

Technické vybavení objektu:

• Zařízení techniky prostředí

Zdrojem tepla je výměníková stanice pára/voda o výkonu 900 kW s pracovní teplotou otopné vody 80/60 °C.

Pro vytápění objektu slouží dvoutrubkový teplovodní systém s nuceným oběhem. Administrativní prostory jsou vytápěny otopnými tělesy umístěnými v parapetech. První nadzemní podlaží je vytápěno podlahovým vytápěním.

Zvláštností je systém pro aktivaci betonového jádra (BKT), kterým jsou ohřívány případně ochlazovány betonové stropy, což přispívá k lepšímu pocitu pohody v prostorách knihovny a úsporám energií. Teplotní spád topné vody je 27/24 °C, chlazené vody 16/19 °C.

Zdrojem chladu pro ochlazování objektu je kompresorová chladicí jednotka se vzduchem chlazeným kondenzátorem. Chladicí výkon jednotky je 718 kW.

Chlazená voda je dvoutrubkovým systémem s nuceným oběhem rozváděna do klimatizačních jednotek a do systému BKT.

Chlazení centrální serverovny a dalších rozvodů elektro je zajištěno samostatným systémem přesné klimatizace.

• Elektrická silová instalace

Objekt je napojen na rozvodnou síť 22 kV. Pro převod na normální napětí slouží dva transformátory 1000 kVA umístěné v suterénu, ze kterých jsou napájeny světelné a zásuvkové okruhy.

V případě výpadku elektrické sítě je k dispozici dieselagregát o výkonu 550 kVA (420 kW), který může automaticky převzít napájení vybraných spotřebičů. Zálohovaná síť je proti krátkodobému výpadku chráněna UPS. Záloha na rozdíl od běžné praxe není zajištěna bateriemi, ale setrvačником, který svojí mechanickou energii promění v elektrickou. Je schopna dodávat 200 kW po dobu max 20 s.

a) Slaboproudá elektrická zařízení

Objekt NTK je vybaven následujícími moderními elektronickými systémy:

- Počítačová síť.
- Zařízení měření a regulace umožňuje okamžité získávání informací o funkci technických zařízení, parametrech prostředí v knihovně a okamžité varování o dosažení extrémních hodnot měřených veličin a hlídaných funkcí. Systém sám pak podle nastavených programů automaticky řídí všechna připojená zařízení.
- Přístup do jednotlivých prostor budovy je umožněn programovatelným systémem elektronické kontroly vstupu s bezkontaktními kartami.
- Nepovolený vstup je hlídán elektronickým zabezpečovacím systémem a je doplněn kamerovým systémem se 139 kamerami.
- V knihovně je k dispozici cca 1 mil. knih, které jsou opatřeny identifikačními čipy. Evidence a vypůjčování knih je zprostředkováno elektrickým zabezpečením knižních fondů v budově.
- V garážích jsou umístěny detektory CO, které v případě překročení povolené koncentrace zapnou větrání a případně vyhlásí evakuaci prostoru.
- V budově jsou instalovány další elektronické systémy jako interkom, místní rozhlas, systém jednotného času, společná televizní anténa a vnitřní pokrytí mobilní televizní sítě.

b) Požární zabezpečení objektu

Pro snížení rizik vzniku požáru je v budově instalována elektrická požární signalizace, která slouží k včasnému varování návštěvníků a zaměstnanců knihovny před rozšířením požáru a plní funkci ovládání zařízení, které mají bezprostřední vliv na jeho rozšíření nebo na bezpečnou evakuaci osob z objektu.

Je použit plně adresný systém s ústřednou modulární koncepcí s použitím automatických hlásičů, který je adresovatelný a umožňuje jednoznačnou a rychlou identifikaci místa vzniku požáru. Každému hlásiči požáru (adrese) lze přiřadit doplňující informace s bližším popisem jeho umístění. Automatické hlásiče požáru jsou rozmístěny, že vznikající požáry jsou signalizovány již v počátečním stadiu.

Ústředna elektrické požární signalizace je umístěna v hlavní slaboproudé místnosti. V objektu je použito 9 linek s celkem 1246 automatickými hlásiči. Místo zásahu při požáru je hlášeno do prostoru s 24hod. službou v 1. NP (recepce), kde je umístěno druhé tablo ústředny EPS. Ústředna EPS je napojena na oddělenou bezpečnostní síť. Tato síť používá kruhovou topologii, do které jsou napojeny jak ústředna EPS, tak externí ovládací terminály EPS, tak i modul propojující ústřednu s počítačovou grafickou nadstavbou.

Včasné uhašení požáru zabezpečuje samostatné hasicí zařízení, které do prostoru vzniku požáru automaticky začne rozprašovat vodní mlhu. Součástí tohoto zařízení jsou vodní nádrže, vysokotlaká čerpadla a 4170 trysek. Systém rozprašování vodní mlhy oproti klasickým systémům umožňuje intenzivnější hašení ohně a po ukončení hašení jsou inkriminované prostory jen minimálně poškozeny vodou.

Serverovna a další rozvodny jsou proti vzniku požáru zabezpečeny samočinnými hasicími zařízeními využívající plynové hasivo na bázi halogenů, které je netoxické a elektricky nevodivé. Hasivo je skladováno v kapalném stavu a v případě zjištění požáru je tryskami vypuštěno do prostoru, kde se promění v plyn a narušováním vazeb reakce spalování potlačuje plameny. Oproti běžným hasivům nezanechává zbytkové materiály, nepoškozuje elektroinstalaci a prostor po hašení stačí pouze vyvětrat.

c) Výtahy

Pro vertikální pohyb osob je k dispozici celkem 7 mechanických výtahů Kone o nosnosti 630 nebo 1000 kg. Dva z nich jsou klasifikovány jako evakuační a jsou schopné provozu i v případě požáru nebo výpadku sítě. Objekt je řešen jako bezbariérový, a proto jsou přístupy do prostor v 2. NP, kam nevede výtah zajištěny plošinami nebo speciálním výtahem pro invalidy.

Pár čísel o NTK:

- 1 mil. svazků, z toho cca 350 tis. ve volném výběru,
- 1151 studijních míst,
- 480 relaxačních míst, z toho 33 ve venkovních atriích,
- 1 studovna časopisů,
- 1 noční studovna,
- 1 tichá studovna,
- 4 počítačové učebny,
- 18 týmových studoven,
- 2 malé týmové studovny,
- 27 individuálních studoven,

- 34 terminálů pro přístup do on-line katalogů,
- 661 pc stanic a terminálů.

PROVOZ OBJEKTU

Předání stavby

Na předání stavby bylo oproti běžné praxi relativně dostatek času a přejímky byly provedeny v plném rozsahu. Závady, které následně byly předmětem reklamací, vyplynuly až během provozu budovy.

Horší je kompletnost a stav předané dokumentace stavby. Projektová dokumentace (v tištěné formě) skutečného provedení byla předána jen v některých profesích, a to ještě zcela skutečnosti neodpovídá. V ostatních profesích změny provedené v průběhu stavby jsou nedostatečně podchycené a v praxi nelze změny, které nejsou zakreslené do kompletní dokumentace dohledávat. Rovněž výrobní výkresy jsou k dispozici jen výjimečně. Daleko horší je situace s elektronickou formou. Ta byla předána v zásadě jen v pracovní verzi projektantů jednotlivých profesí a je velmi nepřehledná. Běžné je, že jednotlivé výkresy nejsou popsány a jsou označené jen pracovním číslem projektanta. Navíc není jisté, zda podle této dokumentace byla provedena i realizace. Taková dokumentace je prakticky nepoužitelná.

Nedostatky jsou i v předepsaných výchozích revizích a odborných prohlídkách. Jako fatální se projevilo neprovedení výchozích prohlídek ocelových konstrukcí podle ČSN 73 2604. Následkem toho byla knihovna nucena dodatečně provést opravy některých nosných konstrukcí.

Připomínky ke koncepci objektu a vlastní stavbě

Autor stavby nevzal v úvahu některé logické požadavky vyplývající z účelu stavby. Jedná se zejména o akustiku, na kterou zvláště ve studovně by měl být kladen důraz. Stěny jsou z pohledových betonů, které nepohlcují zvuk a jsou proto z hlediska útlumu zvuků nevhodné. Situaci poněkud zlepšují regály s knihami. Vzhledem k stále častějšímu používání literatury v elektronické formě se knihovna používá stále více jako studovna a do budoucna se počítá se zásadním omezením knih a zvýšení počtu míst pro studující. Tím se hladina hluku dále zvýší. V administrativní části příčky kanceláří nebyly dotaženy ke stropu a na základě stížností zaměstnanců NTK na přeslechy, byly příčky dodatečně prodlužovány ke stropu, čímž se zhoršilo větrání kanceláří.

Osvětlení ve veřejné části bylo původně navrženo tak, aby byly rovnoměrně osvětleny prostory mezi regály. Architekt však dodatečně prosadil požadavek, aby všechna zářivková světla (včetně WC) směřovala ke geometrickému středu budovy. Některé prostory mezi regály se tak přesvítily a jinde je tma.

Jako ideální se nejvíce ani povrch podlahy v hale v přízemí. Použité Bituteraco je náchylné na mechanické poškození a při dlouhodobějším zatížení např. regály se do něj vytlačí důlky.

V průběhu používání budovy se projevilo zatékání střechou v několika místech. Trvalo 9 let, než se podařilo odstranit všechny netěsnosti střechy. Horší je zatékání betonovou konstrukcí do 1. podzemního podlaží, které je způsobeno z větší části pohybem stavebně samostatných částí budovy, který zničil dilatace. Rovněž venkovní plochy z drátkobetonu se oddělují od objektu a poskytují prostor k zatékání vody.

Zkušenosti s provozem technických zařízení objektu

Zařízení techniky prostředí bylo navrženo a realizováno tak, aby byl dodržen komfort při minimalizovaných nákladech na energie. Záměry autora projektu se podařilo naplnit a prostředí v knihovně je i díky použití aktivace betonů příjemné. Návržnost zvýšení investice do zařízení techniky prostředí nebylo nikdy vyčísleno, a byla by to jistě zajímavá informace pro investory srovnatelných staveb.

Provozovatel důsledně dodržuje nejen provádění všech předepsaných revizí, ale i pravidelných preventivních prohlídek všech zařízení. To se kladně projevuje na jejich stavu. Nicméně deset let provozu si vybírá svoji daň a roste počet oprav a výměn opotřebovaných částí. A zde nastává zásadní problém. Rada použitých zařízení je v ČR unikátních, někteří zahraniční dodavatelé již ani neexistují. Zajistit opravu je pak velmi složité. A ceny za takové opravy jsou závratné.

Celou situaci zhoršuje, že vše je řízeno elektronickými systémy s individuálními softwary. Opravy pak mohou provádět jen dodavatelé, kteří této skutečnosti bezostyšně využívají. A i sami dodavatelé mají s opravami problémy spočívající z neschopnosti lokalizovat závadu v elektronických řídicích systémech a opravu provádějí výměnami částí metodou pokus - omyl. Navíc pro servisy je často nežádoucí provést výměnu jen poškozené součástky. Některé firmy přímo zakazují servisním mechanikům provést tak jednoduchou opravu, ale musí vyměnit celou samostatnou část. Tím se opravy neúnosně protahují a samozřejmě roste i cena.

ZÁVĚR

Stále více se projevuje nedostatek manuálně pracujících. A kvalifikace, a i ochota těch, co jsou k dispozici, stále klesá. A budoucnost, kdy bude možné je nahradit roboty je zřejmě velmi vzdálená. Jedna možnost je zajistit si provoz a opravy zařízení vlastními pracovníky, jak se to dělalo v minulosti. Toto řešení je však velmi omezené pro složitost a rozmanitost současně používané techniky a v řadě případů zcela nemožné nejčastěji z důvodů zablokovaných přístupů k řídicím programům.

I přes uvedené potíže se daří v objektu Národní technické knihovny udržet její technické vybavení plně funkční. Aby to bylo tak i v budoucnosti, bude nutné zajistit finance nejen na servis a opravy, ale i na postupné výměny nebo rekonstrukce jednotlivých funkčních celků. A s tím souvisí i udržení kvalifikované firmy nebo personálu zajišťující provoz objektu.

MOŽNOSTI STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH AKUSTICKÝCH A HYDRAULICKÝCH PARAMETRŮ PRVKŮ VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

Pavel Drábek¹, Stanislav Sehnálek¹, Martin Zálešák¹

¹Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

pdrabek@utb.cz, sehnalek@utb.cz, zalesak@utb.cz

ANOTACE

Náplň příspěvku je orientována na problematiku stanovení základních akustických a hydraulických parametrů vzduchotechnických prvků, jejichž znalost je nezbytná jak pro projektové organizace z hlediska výpočtů, tak i pro samotné výrobní organizace z hlediska kontroly účinnosti jejich výrobků. V běžné praxi jsou akustické a hydraulické požadavky na speciální vzduchotechnické prvky většinou protichůdné a je velmi obtížné definovat bod, kdy dochází k jejich rovnováze. Příspěvek rozvádí analytické, numerické a experimentální přístupy vedoucí k získání požadovaných parametrů, diskutuje jejich omezení a relevantnost výsledků. Dále příspěvek uvádí řešené problémy a získané poznatky z výzkumné činnosti vybraných vzduchotechnických prvků v Laboratoři techniky prostředí na FAI UTB ve Zlíně.

ÚVOD

Na postupný rozvoj architektury, technologických systémů, konstrukčních materiálů a postupů výstavby budov, průběžně reagují legislativní předpisy v podobě nově formulovaných hygienických požadavků na kvalitu vnitřního prostředí budov, které se následně vztahují na jednotlivé faktory prostředí staveb. Vzhledem k současným trendům zmenšování rozměrů technologických zařízení a výstavby budov z lehkých stavebních konstrukcí využívající vzduchotechnické systémy (dále jen VZT systémy) jako způsob vytápění i chlazení, je problematika spojená s jejich provozem stále častěji diskutována z hlediska nedostatečné výměny vzduchu popř. nadměrného hluku.

VZT systémy jsou tvořeny celou řadou zařízení a potrubních prvků zajišťující určitou funkci. Výrobci těchto prvků uvádějí v projekčních podkladech experimentálně zjištěné akustické a hydraulické parametry, které projektové organizace využívají při svých výpočtech. Navzdory neustálých inovací prostředků využívaných při návrzích VZT systémů dochází často k nevhodné implementaci jednotlivých prvků do distribuční sítě, které poté vykazují poruchy jako celek. Tyto poruchy jsou výsledkem nedostatečně provedeného odborného hodnocení, které nezohledňuje celkovou tlakovou ztrátu a vlastní hluk potrubních elementů případně přenos zvuku bočními cestami. Z toho důvodu je znalost parametrů jako je vložný útlum, vlastní hluk, celková tlaková ztráta, případně i pevnost a těsnost VZT prvků klíčová a možnosti jejich stanovení jsou již delší dobu předmětem inženýrského zájmu.

Především z hlediska deklarace těchto parametrů k danému produktu využívají výrobci, popř. distributoři především specializovaných laboratorních měření podle současně platných technických předpisů ISO a ASHRAE. Takový přístup je určen především pro finální produkty z pohledu doplnění technické specifikace. Nicméně pro potřeby vývojových oddělení a testování průběžných návrhů produktů není tento přístup s ohledem na časové a ekonomické aspekty příliš efektivní. Navíc bez specializovaných technik jako např. vizualizace proudění (PIV metody) není možné odhalit různé lokální problémy, a tudíž i konkrétní příčiny nedosažení předpokládaných výsledků měření. Z toho důvodu se v poslední době větší oblibě těší numerické přístupy řešení na virtuálním prototypu za pomoci specializovaných programů. Poslední možností jsou analytické techniky, které lze ovšem aplikovat pouze na poměrně

jednoduché systémy, což velmi limituje jejich použití pro složité praktické typy potrubí, tlumičů, škrtků, škrtek apod. Nicméně tyto techniky pomáhají odborníkům pochopit zásadní souvislosti řešeného problému a jsou vždy neocenitelné pro přibližnou validaci. Tento článek rozvádí výše uvedené a poskytuje základní úvod do problematiky numerických a experimentálních testování různých parametrů pasivních VZT prvků.

ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ

Jak již bylo zmíněno v úvodu, tak analytický přístup řešení může být pro komplexní úlohy proudění a šíření zvuku ve VZT systémech, komplikovaný. I přes dostupný matematický aparát je nutné takové úlohy zahrnující složité geometrie jistým způsobem idealizovat a zjednodušit. Z toho důvodu vznikly na základě poptávky z praxe různé výpočetní vztahy opatřené experimentálně zjištěnými konstantami, které umožňují stanovit přibližné hodnoty součinitele tlakové ztráty, útlumu hluku a hladin akustického výkonu vlastního hluku různých potrubních elementů jako například přímé potrubí, oblouk, odbočky, kolena, vyústky, tlumiče hluku apod. [1]. Nicméně i platnost těchto vztahů přináší jistá omezení z hlediska hmotnostního průtoku či frekvenčního rozsahu. V případě výpočtu parametrů kompletního potrubního VZT systému vznikají značné nepřesnosti vlivem výskytu jakýchkoliv diskontinuit, které mají za následek vznik lokální turbulence, poklesem statického tlaku, odrazu akustické energie zpět ke zdroji, popř. přenosu zvuku bočními cestami.

Problematika proudění tekutin je řešena poměrně intenzivně od konce 19. století. V dnešní době je možné velice dobře popsat proudění tekutin. Pro proudění ve VZT systémech určených do domácího větrání se uvažuje vzduch, jako nestlačitelný což značně zjednodušuje výpočty s tím související. U vzduchotechnických systémů je třeba stanovit tlakovou ztrátu a také těsnost takového systému. Tlaková ztráta VZT prvků se skládá ze dvou složek, jednou je ztráta třením, která se stanovuje výpočtem. Tato ztráta vzniká po celé délce VZT systému a v případě laminárního proudění závisí pouze na velikosti Reynoldsova čísla. Ve vzduchotechnických systémech se laminární proudění vyskytuje jen zřídka, a proto je třeba tlakovou ztrátu třením odvodit pomocí Colebrook-Whitovi rovnice [2]. Pro turbulentní proudění záleží na koeficientu tření, Reynoldsově číslu a také na drsnosti potrubí. Lze vypočítat ze zmíněné rovnice nebo pro kvalifikovaný odhad lze použít Moodyho diagram. [3] Druhou složku tvoří místní tlaková ztráta, tato tlaková ztráta vzniká při odtržení proudu a následné tvorbě vírů a dalších struktur. Tuto tlakovou ztrátu vřazeným odporem je nutné stanovit měřením, až na jednu výjimku, kterou je potrubní díl s náhlým rozšířením nebo zúžením průtočného profilu. Stanovuje se pomocí Borda-Carnotova vztahu za předpokladu, že vstupní a výstupní profil proudu vzduchu je možné považovat za vyvinutý. [4]

Dalším diskutovaným je vlastní hluk, který je produktem nestálého nebo turbulentního proudění. Pro případ výpočtů těchto parametrů se využívá různých transportních technik a analogií, které vhodně re-aranžují Navier-Stokesovy rovnice určující proudění stlačitelné viskózní tekutiny na jednotlivé parametry vlnové rovnice, čímž propojují mechaniku tekutin a akustiku. S touto problematikou souvisí i neustále probíhající vývoj prediktivních modelů pro stanovení vlastního hluku jednoduchých těles včetně interakcí více diskontinuit současně [5]. Nicméně i tato řešení v současné době nepředstavují dostatečný potenciál umožňující široké praktické využití. Nicméně pro případ kulisových tlumičů hluku bylo věnováno značné úsilí zavedení široce uplatitelných konstant, jejíž výsledkem je vztah uvedený v [6]. Nicméně tento vztah obsahuje také jisté rezervy v případě stanovení konstanty tlumiče závislé na hydraulických parametrech.

NUMERICKÉ ŘEŠENÍ

V několika posledních dekáдах bylo dosaženo značného pokroku v kvantitativním porozumění proudění tekutin a přenosu zvuku, a to jak z hlediska identifikace fyzikálních mechanismů, tak i predikce tlakových a energetických hodnot. Postupně byly na tyto úlohy aplikovány různé metody, přičemž metody konečných prvků (dále jen MKP) jsou pravděpodobně tím nejlepším prostředkem pro predikci parametrů výkonu, které jsou potřebné k popisu systému. Za předpokladu, že všechny relevantní vlastnosti materiálu jsou známy, okrajové podmínky jsou správně nastaveny a systém byl správně namodelován, neexistuje zřejmě žádný důvod, proč by tyto metody nemohly přinést dostatečně přesné výsledky.

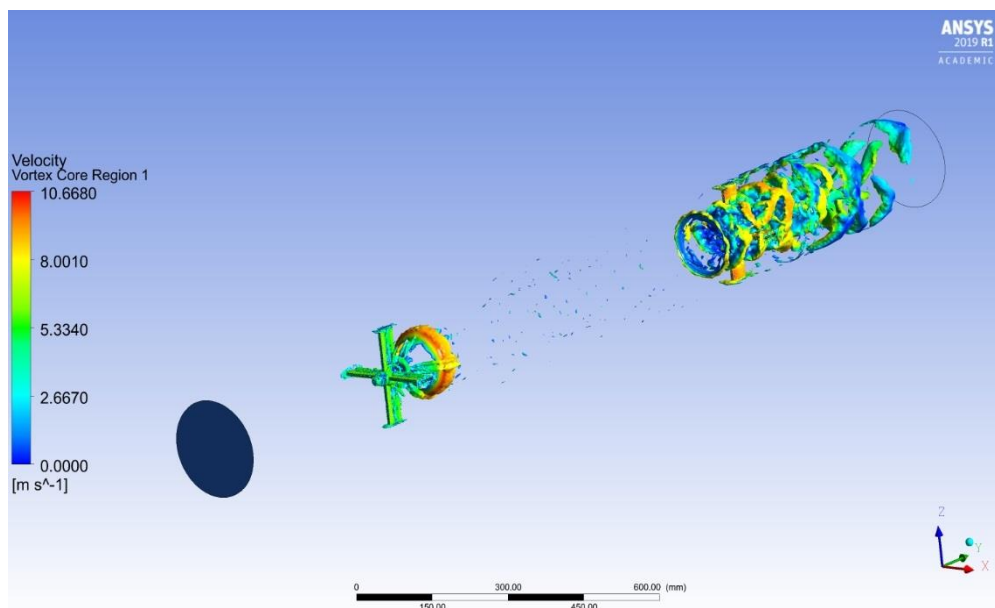
Počítačové softwary využívající MKP ve vztahu s dostatečně výkonnou výpočetní technikou nabízí vysoce účinný nástroj uplatňovaný především pro řešení inženýrských problémů, což představuje typický příklad aplikovaného výzkumu. K samotnému modelování dochází pomocí tzv. stavebnicového přístupu s daným počtem konečně velkých, geometricky jednoduchých prvků daných vlastností. Z těchto prvků je poté možné skládat složitější útvary až do podoby skutečného konstrukčního dílce. Pro provedení požadované analýzy je nezbytné nejprve daný prostor řešení diskretizovat, což je proces, kdy přejde nekonečně-dimenzionální prostor na konečně-dimenzionální prostor, přičemž MKP zahrnuje diskretizaci prostoru do elementů a nodů, které jsou základem tzv. sítě. Hustota této sítě, stejně tak jako zvolená struktura (tetra, hexa, poly, hybrid) má následně zásadní vliv na přesnost a také časovou náročnost výpočtu.

Oblast proudění označovaná akronymem CFD (Computational fluid dynamics), byla známa pouze v inženýrství špičkových technologických oblastech letectví [7] a astronautiky, ale nyní se stává hojně využívanou metodikou k řešení komplexních problémů v moderní strojírenské praxi. Současné numerické nástroje ať už komerční či opensource jsou na velice dobré úrovni uživatelského prostředí, a hlavně disponují robustními řešiči turbulentních proudění. Díky tomuto vývoji výpočetních modelů lze pro stanovení tlakové ztráty kromě měření uplatnit i numerické simulace. Je však nutné zdůraznit, že prvně je důležité výpočetní model validovat s reálným měřením, než se přistoupí na stanovování tlakové ztráty čistě numericky. Důležitá je samozřejmě výpočetní síť, která musí postihnout všechny důležité prvky modelu. Pro určení tlakové ztráty postačuje stacionární úloha s použitím modelů $k-\omega$ nebo $k-\epsilon$, nejlépe však model SST, který je kombinací předešle zmíněných. Závěrem po konvergenci výpočtu už zbývá jen vyhodnotit hodnoty tlaků před a za zkoumaným prvkem a stanovení tlakové ztráty klasickým způsobem.

Problematika akustických simulací prvků VZT systému za účelem získání kýžených parametrů se odvíjí od samotného proudění resp., zdali k proudění dochází či nikoliv. V případě numerických simulací akustických polí generovaných prouděním tekutin (CAA) se turbulentní hluk vyskytuje téměř vždy, jeho širokopásmový charakter bývá často obohacen tónovými komponenty impulsivního původu. Impulsivní hluk může být odvozen z nestacionárního aerodynamického výpočtu, z CFD simulace. CAA rozumíme v nejširším slova smyslu jako proces využívající nějaký druh numerického výpočtu k získání požadované informace. Protože CAA je oproti CFD poměrně nová, je situace ohledně simulací méně příznivá. V současné době neexistuje žádný univerzální přístup, který by spolehlivě zaručil získání žádoucích akustických parametrů pro všechny typy úloh. Z toho důvodu dnes existuje značné množství technik, přičemž některá funguje skvěle pro jeden typ úlohy, ale úplně selhává u úlohy jiné. Využívá se tedy modelování DNS nebo RANS přístupy, popř. LES nebo hybridní modely.

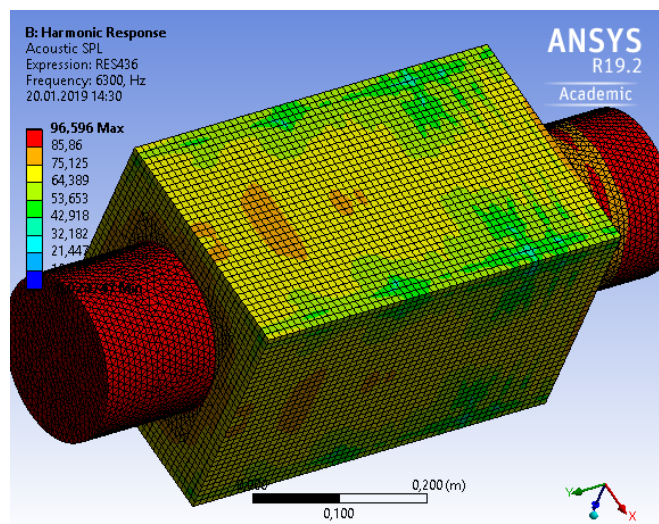
Za nejvíce exaktní techniku se považuje přímá metoda, kde kompletní Euler nebo Navier-Stokesovy rovnice stlačitelné tekutiny jsou řešeny v zájmové oblasti pro nestabilní kombinované proudy a akustické pole z aerodynamické efektivní oblasti až po pozorovatele ve

vzdáleném poli. To ovšem představuje vysoké výpočetní nároky ve vztahu k maximální sledované frekvenci, neboť je nutné, aby síť obsahovala minimálně 10-20 nodů na jednu vlnovou délku. Následně v kombinaci s velkou vzdáleností, až k místu pozorovatele, jsou požadavky na hardware i na dnešní dobu obrovské, což tuto metodu činí pro velké úlohy jako nepraktickou. Pro velké úlohy se složitými, nehomogenními toky a hlukem vyvolaným prouděním se nejčastěji využívá tzv. hybridního přístupu, který procesy generování zvuku a následného šíření uvažuje odděleně. Nelineární aerodynamické blízké pole, ve kterém aerodynamické vzruchy generují zvuk, je „aproximováno“ na lineární akustické vzdálené pole ve kterém se nevyskytuje proudění a šíří se pouze zvuk.



Obr. 1 Ukázka vírů generujících akustickou energii u kulového tlumiče hluku

Akustické úlohy bez proudění se uplatňují především při řešení tlumičů hluku využívajících tradiční disipativní metody. Zde jsou požadavky na hustotu sítě více příznivé, kde je tento požadavek 6 nodů na vlnovou délku. Nicméně vznikají zde problémy s definováním materiálových vlastností např. porézního materiálu, jako je měrný odpor, poréznost, zákrut, viskózní charakteristický rozměr, popř. resistance, reaktance, součinitel zvukové pohltivosti apod. To si vyžaduje přístup do rozsáhlých materiálových databází. Další záležitostí jsou definice vnitřního obložení tvořeného nejčastěji děrovaným plechem. Některé simulační softwary nabízí možnost tzv. perforovaných deskových modelů, kde za použití 2x2 přenosové matice není nutné modelovat jednotlivé otvory. Dále je potřeba k výpočtu výsledků akustického výkonu definovat tzv. akustické regiony (vstup a výstup tělesa), radiační ohraničení, kvůli reflexi akustických vln zpět ke zdroji a normální povrchové rychlosti definující chvění povrchu. Výstupem tohoto přístupu bez uvažovaného proudění mohou být modální, harmonické a transientní akustické analýzy včetně uvažování vzájemné interakce konstrukce a tekutiny.



Obr. 2 Ukázka postupně se snižující akustické energie při průchodu zvuku absorpčním tlumičem hluku

Nejen v CFD oblasti bylo v průběhu let vyvinuto několik velmi účinných nástrojů, které neslouží pouze jako nástroj k výzkumu, ale může být i velmi užitečný i v jiných odvětvích (designéri apod.). Jedná se o bezsíťové metody založených na bázi Lattice Boltzmannových principů, které možná představují budoucnost ve světě numerických simulací. Jedná se o výpočty na GPU, kdy výsledky analýzy je možné sledovat v reálném čase.

EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ

Předchozí přístupy představují metody umožňující získat přibližné řešení. Tyto přístupy jsou neocenitelné ve fázi návrhu produktu, jeho optimalizace a hodnocení různých stavů příp. dodatečných úprav, což ve finále může výrazně odlehčit finanční rozpočet. Na druhou stranu reálné měření slouží spíše pro konečnou validaci navrhovaného řešení na finálním prototypu.

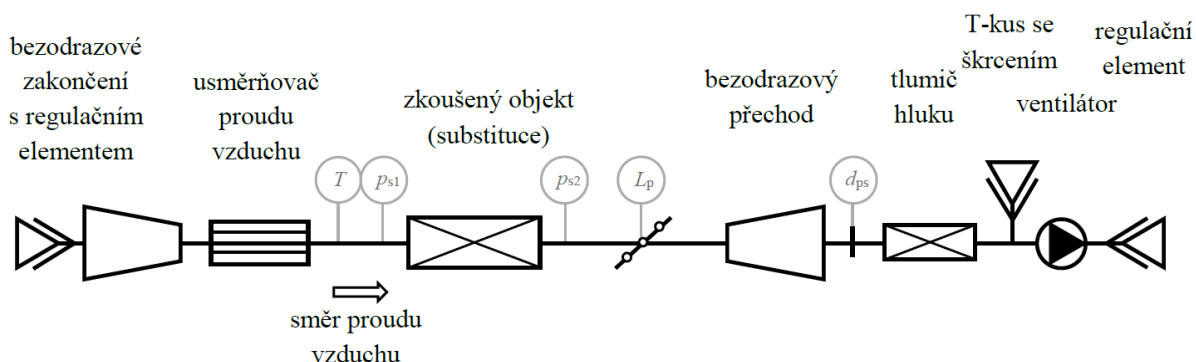
Měření základních parametrů VZT prvků probíhá na specializovaných tratích s tuhým potrubím, jejichž konkrétní konfigurace se odvíjí od měřeného parametru, velikosti a tvaru testovaného vzorku. Doporučené konfigurace uvádí [8][9]. Měřicí postupy v těchto normativních předpisech jsou většinou založeny na substitučních principech, kdy je nejprve testován prvek, jehož parametry chceme znát a následně dojde k jeho nahrazení substitučním potrubím stejné délky a tvaru jako je vstupní a výstupní napojení.

Prvním z žádoucích parametrů je měření tlakové ztráty. Nejen u tohoto typu měření, ale všeobecně při měření s prouděním je nutné vhodně zvolit způsob měření proudící vzdušiny a její regulace. Jednotlivé způsoby měření objemového průtoku popisují mezinárodní normy [10] a [11]. Základními atributy jednotlivých způsobů je rychlost, přesnost a rozsah měření, a dále samozřejmě velikost aparatury a pořizovací cena. Regulaci průtoku je možné provádět více způsoby, regulací otáček ventilátoru, regulační klapkou, popř. jiným nastavitelným škrticím zařízením. Samotných možností umístění těchto regulačních elementů je opět více a odvíjí se od toho, zdali je testovaný objekt umístěn na straně sání nebo výtlaku. Vhodným způsobem je měřený prvek umístit na sání ventilátoru, který se provozuje na konstantní otáčky, vstupní část tratě mít dostatečně dlouhou nebo využít talířového regulačního elementu k dosažení určité tlakové difference mezi barometrickým tlakem a tlakem před měřeným vzorkem. Regulace průtoku se poté provádí přísáváním vzduchu v místě mezi měření objemového průtoku a ventilátorem. Samotné měření tlakové ztráty se provádí podle [8]

a nyní nově podle [12]. Možnou variantu, jak pro měření tlakové ztráty tak i vlastního hluku uvádí Obr. 3.

Měření akustických parametrů VZT prvků představuje stanovení vložného útlumu a vlastního hluku. I v tomto případě se konfigurace tratě liší podle toho, jestli dochází ke stanovení vložného útlumu s prouděním nebo bez. V případě měření akustických parametrů bez proudění je zdrojem zvuku širokopásmový reproduktor umístěný v malé dozvukové skříni na jednom konci tratě. Generování akustického vlnění poté zajišťuje výkonový zesilovač, který může obsahovat různé modulační filtry pro generování akustického signálu pouze v určitém frekvenčním spektru. Na druhém konci tratě je třeba osadit vhodně navržené bezodrazové zakončení, jehož hlavním znakem je dostatečně pozvolné rozšiřování průřezu potrubí, z důvodu potlačení odrazu zvukových vln zpět ke zdroji zvuku. V těchto provedeních se postupná změna plochy průřezu potrubí přibližuje exponenciálnímu trychtýři, jehož část je vyplněna absorpčním materiálem. Hodnocení účinnosti bezodrazových zakončení se provádí výpočtem tzv. činitele odrazu, který udává rozdíl mezi maximálními a minimálními hladinami akustického tlaku, vznikajícími v potrubí se stojatým vlněním, vytvořenými postupujícími a odraženými rovinnými vlnami v každé střední frekvenci frekvenčních pásem. K samotnému měření akustického tlaku dochází v minimálně třech polohách za zkoušeným objektem. Ve většině moderních akustických laboratořích dochází k měření všech poloh současně pomocí měřicích stanic, které slouží jako hladinový zapisovač akustického tlaku podle funkce času.

V případě měření vlastního hluku jsou požadavky na laboratorní zázemí větší. Technické normy [8] a publikace zabývající se touto problematikou se omezují pouze na metodu měření v potrubí se zařazenou dozvukovou komorou. Technická norma [8] dále pouze textově zmiňuje využití alternativních metod. Jedná se o měření pouze v potrubí s bezodrazovým zakončením a ve volném zvukovém poli v okolí potrubí s volným vyústěním. Z toho důvodu je následující text více zaměřen na jednu z konfigurací, která může být použita jako alternativa k měření vložného útlumu v potrubní trati s dozvukovou komorou. Obr. 3 zobrazuje konfiguraci, která umožňuje splnit požadavky na tiché proudění, měření tlakové ztráty a přesnou regulaci průtoku vzduchu. Podrobný rozbor této konfigurace tratě včetně způsobu vyhodnocení je uveden v [13].



Obr. 3 Schéma konfigurace potrubní tratě s otevřenými konci pro měření vlastního hluku VZT prvků

ZÁVĚR

Přístupů, jak získat potřebné parametry VZT prvků existuje několik, z nichž každý se odlišuje jak svou přesností, tak i znalostní, časovou a finanční náročností. Současná rychlost vývoje výpočetní techniky a složitost jednotlivých úloh nasvědčují, že řešení různých úloh na proudění i přenos zvuku se bude stále více opírat o robustní a rychlé numerické metody. Výsledkem

bude, že práce se specializovanými softwary bude nedílnou součástí pracovní náplně technických pracovníků.

Nicméně vzhledem k faktu, že numerické simulace jsou prozatím pouze pomocné nástroje závislé na vstupních datech, okrajových podmínkách a nastavení řešičů je nutné získané výsledky validovat na základě reálného měření.

LITERATURA

- [1] ZMRHAL V., KUČERA M., Šíření hluku potrubní sítí, výukový materiál ČVUT v Praze Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
- [2] MOODY, L. F., „Friction Factors for Pipe Flow,“ New York, 1944
- [3] COLEBROOK, C. F. a WHITE, C. M., Experiments with Fluid Friction in Roughened Pipes, Londýn: Royal Society of London, 1937
- [4] IDELČIK, J. I., Spravočnik po gidravličeskim soprotivlenijam. 2. pererab. i dopol. izd, Moskva: Spravočnik po gidravličeskim soprotivlenijam. 2. pererab. i dopol. izd, 1975
- [5] CHENZHI, C. a CHEUK, M. M., „Generalized flow-generated noise prediction method for multiple elements in air ducts,“ *Applied Science Publishers*, č. 135, 2018
- [6] ČSN EN ISO 14163, *Akustika - Směrnice pro snižování hluku tlumiči*, Praha: Český normalizační institut, 1999
- [7] SUN, H. a LEE, S. *Response surface approach to aerodynamic optimization design of helicopter rotor blade*. International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2005, 64, 1, pp. 125–142
- [8] ČSN EN ISO 7235 - *Akustika - Laboratorní měřicí postupy pro tlumiče hluku v potrubí a vzduchotechnické koncové jednotky - Vložný útlum, vlastní hluk a celková tlaková ztráta*, Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2010
- [9] ČSN EN ISO 11820 - *Akustika - Měření tlumičů in situ*, Brusel: Evropská komise pro normalizaci, 1998
- [10] ČSN EN ISO 5167, *Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu*, Praha: Český normalizační institut, 2003
- [11] ČSN EN ISO 5801, *Průmyslové ventilátory - Zkoušení výkonu s použitím normalizovaného vzduchovodu*, Praha: Český normalizační institut, 2009
- [12] ČSN EN 17192, *Větrání budov - Vzduchovody - Nekomovná potrubí - Požadavky a zkušební metody*, Praha: Český normalizační institut, 2019
- [13] DRÁBEK, P. The regenerated noise of HVAC elements and its measurement in pipeline track. In MATEC Web of Conferences. Les Ulis : EDP Sciences, 2018, s. nestránkováno. ISSN 2261-236X

Tato práce byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu Národního programu udržitelnosti č. LO1303 (MSMT 7778/2014) a Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci projektu CEBIA-Tech č. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 a také interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně č. IGA/CebiaTech/2019/001.

VLIV UŽIVATELŮ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V OBYTNÝCH BUDOVÁCH

Lada Hensen Centnerová

Technische Universiteit Eindhoven

l.hensen@tue.nl

ANOTACE

Kvalita vnitřního prostředí v obytných budovách je závislá nejen na způsobu větrání, jeho funkčnosti, či množství přiváděného/odváděného větracího vzduchu, ale také na vlastních uživateli bytu/domu. Výzkumy ukazují, že kvalita vnitřního prostředí má vliv na zdraví a pohodu lidí pobývajících v daném prostředí.

ÚVOD

Jedním z nejdůležitějších významů budov je vytvoření dobrého vnitřního prostředí pro jejich uživatele. V současné době tráví lidé až 90 % svého času v budovách. Zhruba 65 % (13 hodin) z této doby tráví lidé doma, ve svém domě, či bytě [1]. Kvalita vnitřního prostředí v obytných budovách je tedy velmi důležitá.

Jak lidé vnímají vnitřní prostředí

Lidé vnímají vnitřní prostředí čtyřmi z pěti základních smyslových orgánů (obr. 1). Máme dvě uši, kterými slyšíme (akustický komfort), dvě oči, kterými vidíme (světelný komfort), asi 160 000 teplotních senzorů na celém těle (zejména v nekrytých částech) [2], kterými vnímáme teplo (tepelný komfort) a jeden nos, kterým vnímáme pachy (kvalita vzduchu). A to je také jeden z "problémů". Lidé cítí některé chemikálie, které se odpařují z materiálů nebo tabákový kouř, ale prachové částice nebo CO₂ necítíme. Lidé si často ani nejsou vědomi špatné kvality vnitřního vzduchu ve vlastním domě (bytě). Jak je možné tento „neviditelný“ problém řešit? Zajistit účinné větrání a měřit kvalitu vnitřního prostředí, což je otázka technologie, která se vyvíjí velmi rychle a je stále levnější.



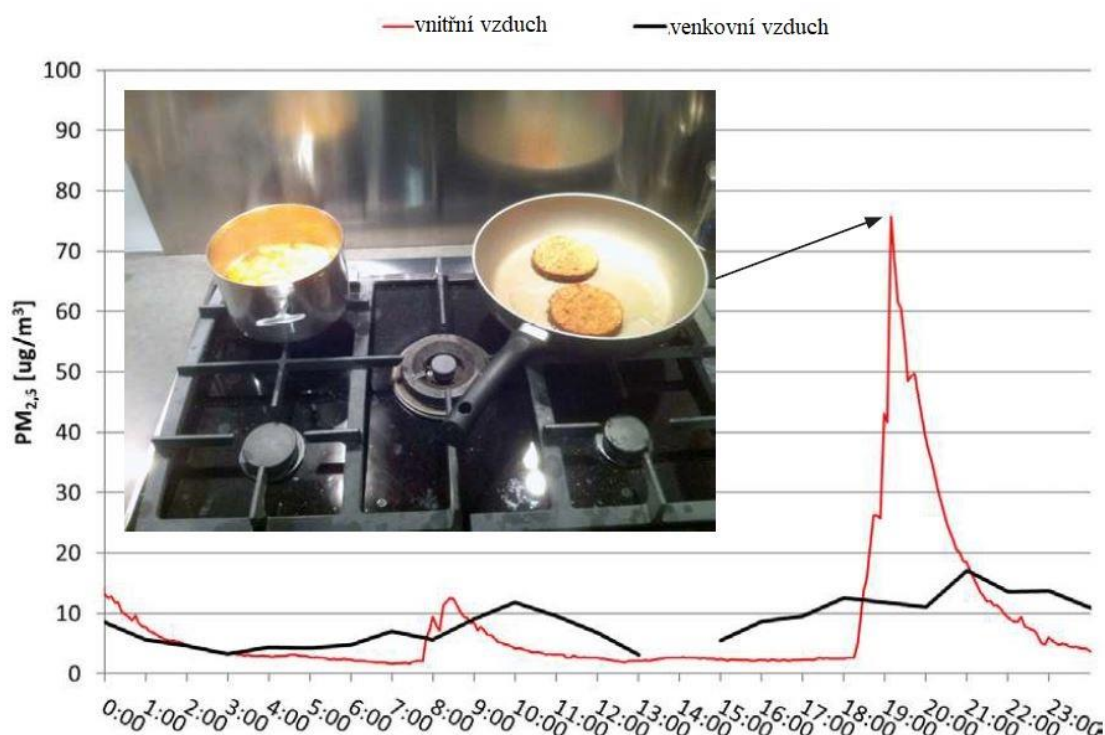
Obr. 1 Pět základních smyslových orgánů – smysly – zrak (světelný komfort), sluch (akustický komfort), čich (kvalita vzduchu), chuť (-), hmat (tepelný komfort)

SPECIFIKA JEDNOTLIVÝCH MÍSTNOSTÍ

Z důvodů snížení energie potřebné pro provoz budov se izolují stávající domy, čímž se sníží spotřeba energie na vytápění a často se i zlepší tepelná pohoda, nicméně vzniká zde často jiný problém. Nedostatečné větrání všech místností, které způsobuje zhoršenou kvalitu vzduchu. Stejný problém může vznikat i u nově stavěných domů s minimální průvzdušností obvodového pláště. (U pasivních domů je tato hodnota max. 0,6 h⁻¹.)

Kuchyně

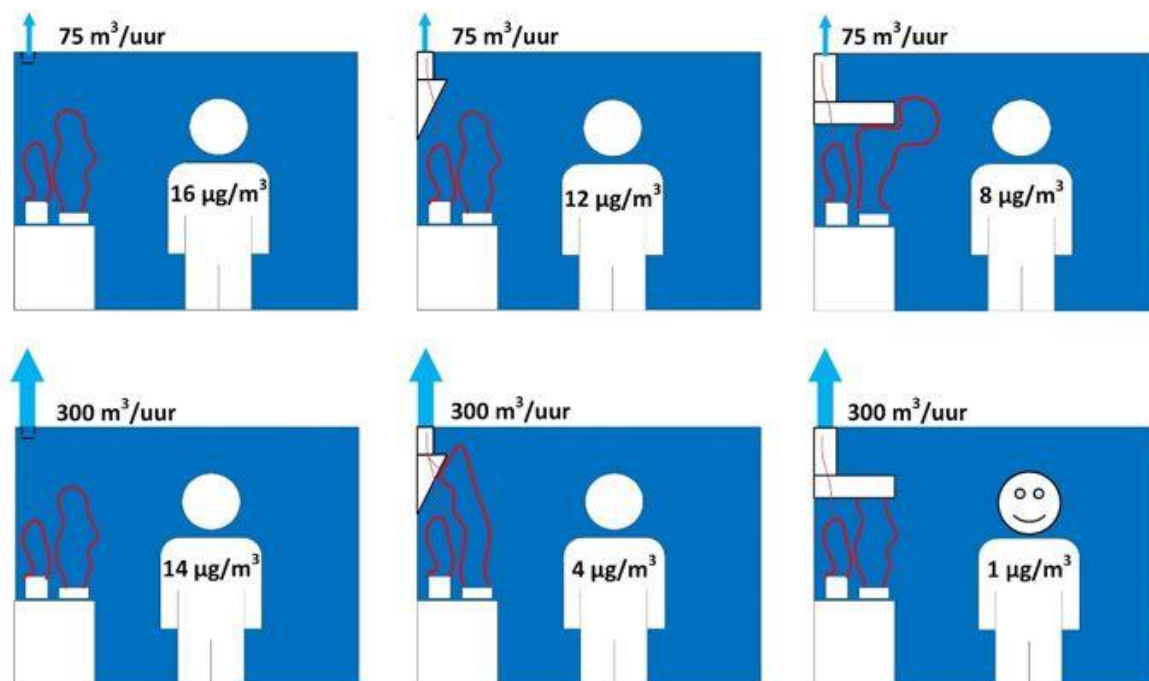
Dlouhou dobu bylo vaření spojováno pouze s nadměrnou produkcí vlhkosti a zápachů. Nicméně v posledních letech výzkumy ukazují, že při vaření vznikají velké koncentrace prachových částic, které několikanásobně překračují hranice doporučené Světovou Zdravotní Organizací WHO. Ve studii provedené v nízkoenergetických domech v Holandsku [3] byly naměřeny maximální koncentrace PM_{2,5} řádově od 100 do téměř 2000 $\mu\text{g} / \text{m}^3$. Vzhledem k vysoké vzduchotěsnosti bytů koncentrace jemného prachu, který se vytváří při vaření, zůstává i několik hodin nad doporučenou průměrnou roční koncentrací 10 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ podle WHO. Česká norma povoluje 25 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (obr. 2).



Obr. 2 Typické koncentrace prachových částic v průběhu dne, zvýšená koncentrace je způsobena smažením hamburgerů. Naředění (snížení této koncentrace pod WHO doporučenou hranici) trvá déle než 4 hodiny

Na produkci prachových částic má také vliv druh jídla, které je připravované, typ pánve, druh oleje apod. Z uvedeného příkladu je zřejmé, že účinné větrání, v tomto případě odsávání je velmi důležité. Další studie [4] zjišťovala vliv tvaru odsavače a množství odváděného vzduchu na snížení koncentrace prachových částic. Výsledky jsou znázorněny na obr. 3. Nejlepší varianta je odsavač s výkonem 300 m^3/h , který je přímo nad vařičem. Pokud uživatelé bytu nezapínají odsavač při vaření, závisí doba nutná na dostatečné snížení koncentrace prachových částic po ukončení vaření na objemu místnosti a celkovém objemovém průtoku větrání.

Výsledná koncentrace jemných prachových částic (PM_{2,5}) závisí samozřejmě také na koncentraci ve venkovním (přiváděném) vzduchu. V roce 2018 byla roční průměrná koncentrace 19,75 $\mu\text{g} / \text{m}^3$, nicméně na Ostravsku byla vyšší než 25 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ a naopak na Šumavě byla nižší než 10 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ [5].



Obr. 3 Roční průměrné zvýšení koncentrace PM_{2,5} při pobytu v domě v důsledku vaření. Specifikované průtoky jsou mechanické průtoky během vaření, po vaření byl vypočítán průtok větrání + infiltrace 100 m³ / h.

Obývací pokoj

Zdrojem znečištění vnitřního prostředí v obývacím pokoji (pokud není propojen s kuchyní) jsou pouze lidé, případně krbová kamna. Krb nebo krbová kamna se instalují nejen z důvodů praktických (pro vytápění), ale i z důvodů estetických (příjemné plápolání ohně). Při spalování však vznikají škodliviny (k nejdůležitějším patří CO₂, vodní páry, jemný prach, CO), které se při špatné instalaci či špatném provozu dostávají ve větší míře do interiéru. Koncentrace vznikajících škodlivin se velmi liší. Nejdůležitější je, aby zařízení bylo instalováno odborníkem a aby byl zajištěn dostatečný přívod spalovacího vzduchu, což u nízkoenergetických a nově izolovaných domů znamená centrální přívod vzduchu.

Ložnice

Většina lidí spí 6 až 9 hodin denně, což znamená, že trávíme zhruba třetinu života v ložnici. Výzkumy ukazují, že koncentrace CO₂ často značně překračuje doporučené hodnoty, což zhoršuje kvalitu spánku a tím má vliv i na zdraví lidí.

Doporučená koncentrace CO₂ ve vnitřních prostorách je 800 až 1000 ppm (parts-per-million, počet jednotek na milion celkových jednotek vzduchu). Je-li koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu vyšší než 2000 ppm (0,2 %) lidé pocítují únavu, snižuje se jejich produktivita nebo kvalita spánku. Průměrná koncentrace oxidu uhličitého ve venkovním vzduchu je zhruba 400 ppm [6] neboli 0,04 % z celkového složení vzduchu vyjádřené v procentech.

Nejčastější způsob větrání bytů a rodinných domů je přirozený přívod vzduchu pomocí infiltrace (netěsnosti), mikro ventilace (větrací štěrby) či nárazové větrání (otevřená okna) a nucený odvod vzduchu přes (kuchyň), WC a koupelnu. Bohužel běžná praxe je, že těsná okna nedovolí nekontrolovatelnou infiltraci a uživatelé bytu uzavřou větrací štěrby, protože je obtěžuje průvan. V takovém případě dochází k minimálnímu větrání ložnic, což při zavřených

dveří a malém objemu místnosti způsobuje značné zvýšení koncentrace CO_2 v průběhu noci. Příklad stoupání koncentrace v ložnici se zavřeným oknem (včetně mikro ventilace) i vnitřními dveřmi (s minimální infiltrací) je na obr. 4a. Obr. 4b ukazuje koncentrace CO_2 ve stejné ložnici s otevřenou mikro ventilací.



Obr. 4 Průběh koncentrace CO_2 v ložnici s těsnými okny v červnu 2019 (venkovní teplota mezi 12 až 18 °C). **4a** – zavřené okno (včetně mikro ventilace) i vnitřní dveře. **4b** – otevřené okno ,na škvíru‘.

Koupelna

Největší škodlivinou v koupelně je vlhkost, která může způsobovat tvorbu plísní. Podle [7] plísně vynikají a rostou na sádkartonu a jiných površích (kromě kachlíček) pokud min. 50 % času je relativní vlhkost vzduchu u povrchu vyšší než 80 % (k čemuž dochází při relativní vlhkosti vzduchu 65 % a vyšší). Nejvyšší produkce vlhkosti je způsobena sprchováním. V Tab. 1 jsou uvedeny minimální a maximální produkce vlhkosti způsobené sprchováním [8]. Absorpce vlhkosti okolními povrchy ukazuje širokou variabilitu od 50 cm³ (litrů) při kompletně vykachlíčkové koupelně až po 500 litrů při použití absorpčních povrchů jako neupravené dřevo, či speciální absorpční omítky.

Tab. 1 Produkce vlhkosti spojená se sprchováním

Zdroj vlhkosti	Min produkce vlhkosti [cm³]	Max produkce vlhkosti [cm³]
Sušení těla ručníkem	100	140
Vlhkost ve vzduchu	100	200
Absorpce povrchy	50	500
Stříkající voda	200	600
Celkem	450	1450
Průměrná produkce vlhkosti	1000	

K vysoušení koupelny dochází až po odpaření povrchové vlhkosti v koupelně. Z toho důvodu je možné konstatovat, že jeden člověk, který se sprchuje 15 minut, vyprodukuje méně vlhkosti než 3 lidé, kteří se každý sprchuje 5 minut, ale v dlouhém časovém intervalu [8].

ZÁVĚR

Uživatelé bytových domů mají velký vliv na kvalitu vnitřního prostředí. Staré přísloví říká 'můj dům, můj hrad' neboli ve svém domě je každý vlastním pánem. Může si ve svém 'hradě' dělat co chce, ale také se o svůj 'hrad' musí starat. Na rozdíl od tepelné pohody, kterou každý vnímá (pomocí tisíce sensorů jenž nepřetržitě registrují tepelné proudění), vnímáme kvalitu vzduchu jen částečně. Pro zajištění optimální kvality vnitřního vzduchu v bytových domech jsou důležitý nejen instalovaný systém větrání, ale také jeho provoz, který ovlivňuje uživatel domu. Dále je důležité, aby si uživatelé byli vědomi špatné kvality vzduchu, kterou svou činností způsobují. Měřicí přístroje jsou finančně stále dostupnější a 'use friendly' včetně mobilních aplikací které vám pošlou upozornění, když např. koncentrace CO₂ překročí doporučené hodnoty. I zde platí, že technika je důležitá, ale nejdůležitější jsou lidé, kteří ji používají.

LITERATURA

- [1] ASHRAE, 10 Tips for Home Indoor Air Quality, 2017. Dostupné: <https://www.ashrae.org/resources--publications/free-resources/10-tips-for-home-indoor-air-quality>.
- [2] Bean, R. Thermal Comfort: Indeed a Condition of Mind (in simple terms), Dostupné: <http://www.healthyheating.com/Thermal-Comfort-in-Simple-Terms.htm#.XIVWIyhKjIU>.
- [3] JACOBS, P. BORSBOOM, W. Cooking exhaust systems for low energy dwellings. *REHVA Journal*, 6/2017
- [4] JACOBS, P. a další Ventilatiesysteem met kookafzuiging. *TVVL Magazine* 8/2018
- [5] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/IV1_PM_CZ.html
- [6] Koncentrace CO₂ ve vzduchu prolomila magickou hranici, 10.5.2013 Dostupné: <https://zpravy.aktualne.cz/koncentrace-co2-ve-vzduchu-prolomila-magickou-hranici/r~i:article:779348/>
- [7] Adan, O.C.G. On the fungal defacement of interior finishes, PhD thesis, 1994, TU Eindhoven
- [8] Hasselaar, E. De badkamer en schimmelrisico. *TVVL Magazine* 8/2018

EKODESIGN VĚTRACÍCH JEDNOTEK

Ing. Jaroslav Chlup

2VV s.r.o.

jaroslav.chlup@2vv.cz

ANOTACE

Přehled stávajících požadavků na ekodesign větracích jednotek a jejich další možný vývoj v budoucnu.

POŽADAVKY NA EKODESIGN VĚTRACÍCH JEDNOTEK

Příspěvek si klade za cíl zpřehlednit aktuální požadavky na ekodesign větracích jednotek stanovené v [1,2] platné od roku 2018 s rozbohem základních parametrů (SEC, CTRL) zejména u bytových obousměrných potrubních větracích jednotek a dále nastiňuje možné oblasti vývoje právě probíhající revize nařízení ekodesign pro větrací jednotky, které má začít platit od r. 2021-22.

Tab. 1 Požadavky na Ekodesign Větracích Jednotek od 1. ledna 2018

VU (větrací jednotka)		RVU (pro obytné budovy)		NRVU (pro jiné než obytné budovy)	
parametr	jednotka	UVU	BVU (obousměrné)	UVU (jednosměrné)	BVU (obousměrné)
max. průtok	m³/h	0 - 250 (-1000 deklarace výrobce) (potrubní @ 100 Pa)		250 - (1000 -) nekonečno	
příkon	W	min.30	min. 60	min.30	min. 60
SEC	kWh/(m².a)	max. -20		-	-
L _{WA} (skříň)	dB	max. 40 (pouze bezpotrubní)		-	-
pohon	rychlost	min. 3 rychlosti nebo proměnné otáčky (mimo VU s duálním použitím)			
obtok	přítomnost	-	povinná	-	povinná
výměna filtru	signál	vizuální (jen pro VU s filtrem)		vizuální nebo zvukový pro (měřenou) tlakovou ztrátu vyšší než konečnou (jen pro VU s filtrem)	
ZZT	přítomnost	-	-	-	povinná
teplotní účinnost η_{t_nrvu}	%	-	-	-	min. 73 (jiná ZZT); min. 68 (oběhová ZZT)
účinnost ventilátoru η_{vu}	%	-	-	min. 6,2 * ln(P) + 42 (P ≤ 30 kW) min. 63,1 (P > 30 kW)	- -
vnitřní měrný příkon ventilátorů SFP _{int}	W/(m³/s)	-	-	max. 230 (jen pro VU s filtrem)	jiná ZZT (rekuperece, regenerace): max. 1100 + E – 300 * q _{nom} /2 – F (< 2 m³/s) max. 800 + E – F (≥ 2 m³/s) E = (η _{t_nrvu} - 0,73) * 3000 F = 150 střední; 190 jemný; 340 oba filtry chybí oběhová ZZT: max. 1600 + E – 300 * q _{nom} /2 – F (< 2 m³/s) max. 1300 + E – F (≥ 2 m³/s) E = (η _{t_nrvu} - 0,68) * 3000
energetický štítek	přítomnost	povinná (třída A+, A, B, C, D, E, F, G)		-	
informace	internet, dokumentace	dodavatel,model,SEC,typologie,pohon,ZZT,η _t ,max.průtok,max.příkon,L _{WA} ,ref.průtok+tlak,SPI,CTRL,max.int.+ext.netěsnost,filtr-výměna,UVUmřížky,demontáž,(be		výrobce, model, typologie, pohon, ZZT, η _t , jmen.průtok, příkon, SFP _{int} , nátok.rychlost, jmen.vnější.+vnitřní tlak, účinnost ventilátorů, max.int.+ext.netěsnost, energetická třída filtrů, filtr_výměna, L _{WA} , demontáž	

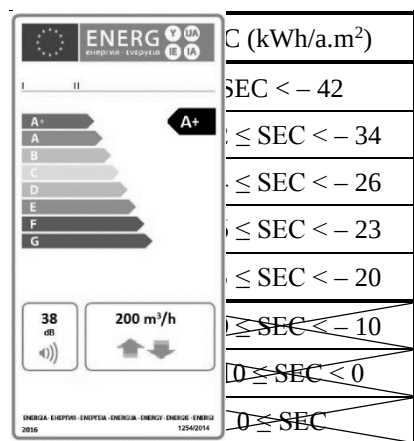
		zpotrubní=mísení,citlivost,int.+ext. vzduchotěsnost)	
--	--	---	--

Tab. 2 Výpočet SEC = specifická roční spotřeba energie větracích jednotek pro obytné budovy

symbol	hodnota	jednotka	parametr
SEC		kWh/(m ² .a)	specifická roční spotřeba energie (při referenčním průtoku a vnějším tlaku 50Pa)
	$SEC = t_a \cdot p_{ef} \cdot q_{net} \cdot MISC \cdot CTRL^x \cdot SPI - t_h \cdot \Delta T_h \cdot \eta_h^{-1} \cdot c_{air} \cdot (q_{ref} - q_{net} \cdot CTRL \cdot MISC \cdot (1 - \eta_t)) + Q_{defr}$		
	$SEC = ((AEC \cdot p_{ef}) - AHS)/100$		
AEC		kWh/a	roční spotřeba elektrické energie na 100 m ² podlahové plochy
	$AEC = (t_a \cdot q_{net} \cdot MISC \cdot CTRL^x \cdot SPI + Q_{defr}/p_{ef}) \cdot 100$		
AHS		kWh/a	roční úspora tepla na 100 m ² podlahové plochy
	$AHS = (t_h \cdot \Delta T_h \cdot \eta_h^{-1} \cdot c_{air} \cdot (q_{ref} - q_{net} \cdot CTRL \cdot MISC \cdot (1 - \eta_t))) \cdot 100$		
η_t		-	teplotní účinnost systému zpětného získávání tepla (ZZT) při ref. průtoku (EN13142)
	$\eta_t = (t_2'' - t_2') / (t_1' - t_2')$		
t_2''		°C	teplota přiváděného vzduchu ze systému ZZT do místnosti
t_2'		°C	teplota vnějšího vzduchu
t_1'		°C	teplota vnitřního vzduchu odváděného z místnosti do systému ZZT
SPI		kW/(m ³ /h)	měrný příkon větrací jednotky (při referenčním průtoku a vnějším tlaku 50Pa)
	$SPI = P_E / q_{vref}$		
P_E		W	efektivní příkon větrací jednotky (při referenčním průtoku a vnějším tlaku 50Pa)
q_{vref}		m ³ /s	referenční průtok při vnějším rozdílu tlaků 50 Pa (= 70% z maximálního průtoku)
q_{vmax}		m ³ /s	maximální průtok při vnějším rozdílu tlaků 100 Pa
MISC		-	faktor obecné typologie větrací jednotky
	1,1	-	potrubní jednotka
	1,21	-	bezpotrubní jednotka
CTRL		-	faktor řízení větrání (DCV = podle potřeby)
	1	-	ruční řízení (bez DCV)
	0,95	-	časové řízení (bez DCV)
	0,85	-	centrální řízení podle potřeby DCV
	0,65	-	lokální řízení podle potřeby DCV
		-	
x		-	motor & pohon ventilátorů
	1	-	zapnuto/vypnuto & jediná rychlost
	1,2	-	2 rychlosti
	1,5	-	více rychlostí (MSD)
	2	-	proměnné otáčky (VSD)
c_{air}	0,000344	kWh/(m ³ .K)	měrná tepelná kapacita vzduchu
q_{net}	1,3	m ³ /h.m ²	čistý požadavek na větrání
q_{ref}	2,2	m ³ /h.m ²	referenční míra přirozené výměny vzduchu
p_{ef}	2,5	-	faktor primární energie pro získání elektrické energie
η_h	0,75	-	účinnost vytápění prostor
t_a	8760	h/a	roční provozní hodiny
t_h		h/a	trvání otopného období
	6552	h/a	chladné klima
	5112	h/a	průměrné klima
	4392	h/a	teplé klima
ΔT_h		K	průměrný rozdíl vnitřní a venkovní teploty vzduchu v otopném období
	14,5	K	chladné klima
	9,5	K	průměrné klima
	5	K	teplé klima
		-	
Q_{defr}		kWh/(m ² .a)	tepelná energie pro odtávání rekuperačních systémů ZZT
	5,82	kWh/(m ² .a)	chladné klima
	0,45	kWh/(m ² .a)	průměrné klima
	0	kWh/(m ² .a)	teplé klima
	$Q_{defr} = t_{defr} \cdot \Delta t_{defr} \cdot c_{air} \cdot q_{net} \cdot p_{ef}$		
t_{defr}		h/a	doba odtávání rekuperačních systémů ZZT
	1003	h/a	chladné klima
	168	h/a	průměrné klima
	0	h/a	teplé klima
		-	

ΔT_{defr}		K	průměrný rozdíl venkovní teploty a -4°C během odtávání rekuperačních ZZT
	5,2	K	chladné klima
	2,4	K	průměrné klima
	0	K	teplé klima

Tab. 3 Klasifikace tříd specifické spotřeby energie SEC pro průměrné klima od 1. ledna 2018



Z výše uvedené konstrukce parametru SEC vyplývá, že hlavní vliv na jeho velikost při referenčním průtoku a tlaku z pohledu konstrukce větrací jednotky mají: měrný příkon SPI, teplotní účinnost η_t , řízení jednotky CTRL, typologie jednotky MISC, motor ventilátoru x, typ výměníku ZZT. $\text{SEC} = f(\eta_t, \text{SPI}, \text{MISC}, \text{CTRL}, x, Q_{\text{defr}})$ Jak velký vliv mají tyto dílčí parametry na energetické hodnocení větrací jednotky naznačují následující grafy teplotní účinnosti η_t a měrného příkonu SPI s vyznačením hranic konstantních SEC mezi oblastmi jednotlivých tříd specifické spotřeby energie pro odlišné větrací jednotky s různými parametry MISC, CTRL, x, ZZT.

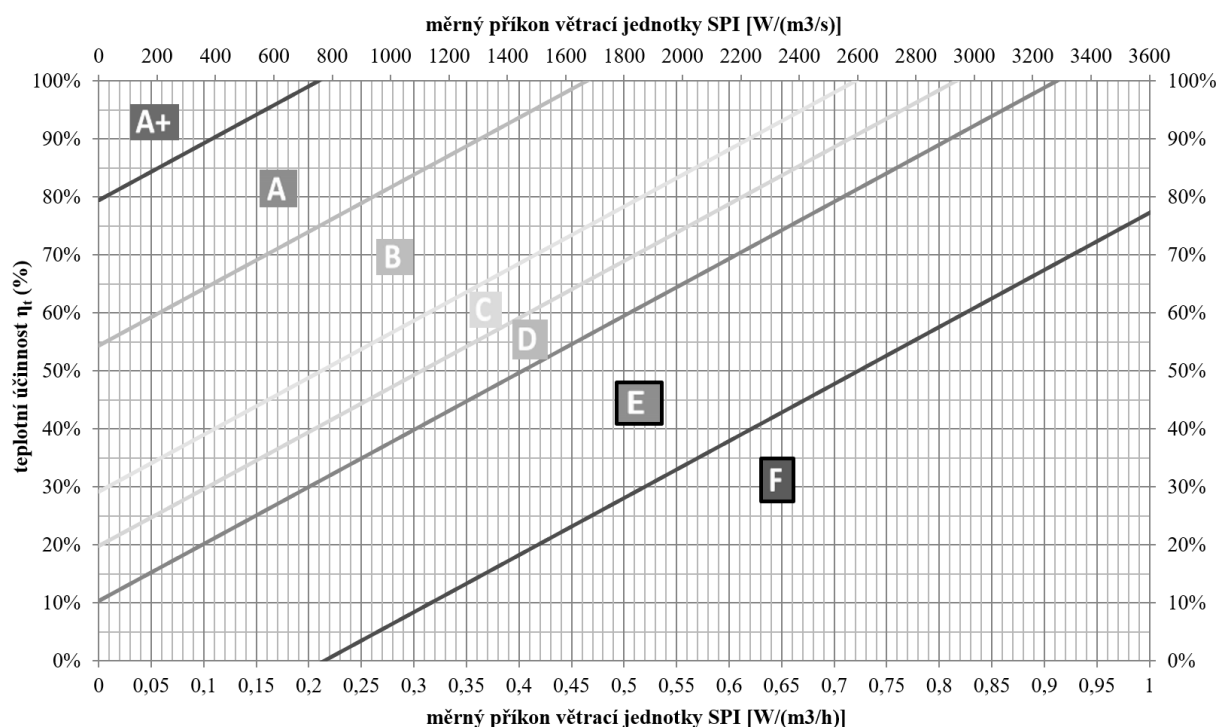
Vliv typologie jednotky MISC: potrubní jednotky mají mírně zvýhodněné hodnocení SEC oproti bezpotrubním jednotkám díky účinnosti větrání a těsnosti potrubí. U vyšších energetických tříd A jsou rozdíly menší a směrem k nižším třídám D rozdíl roste.

Vliv typu výměníku ZZT: regenerační ZZT mají v případě průměrného klimatu pouze mírné konstantní zvýhodnění hodnocení SEC oproti rekuperačním ZZT díky nepotřebě odmrazování.

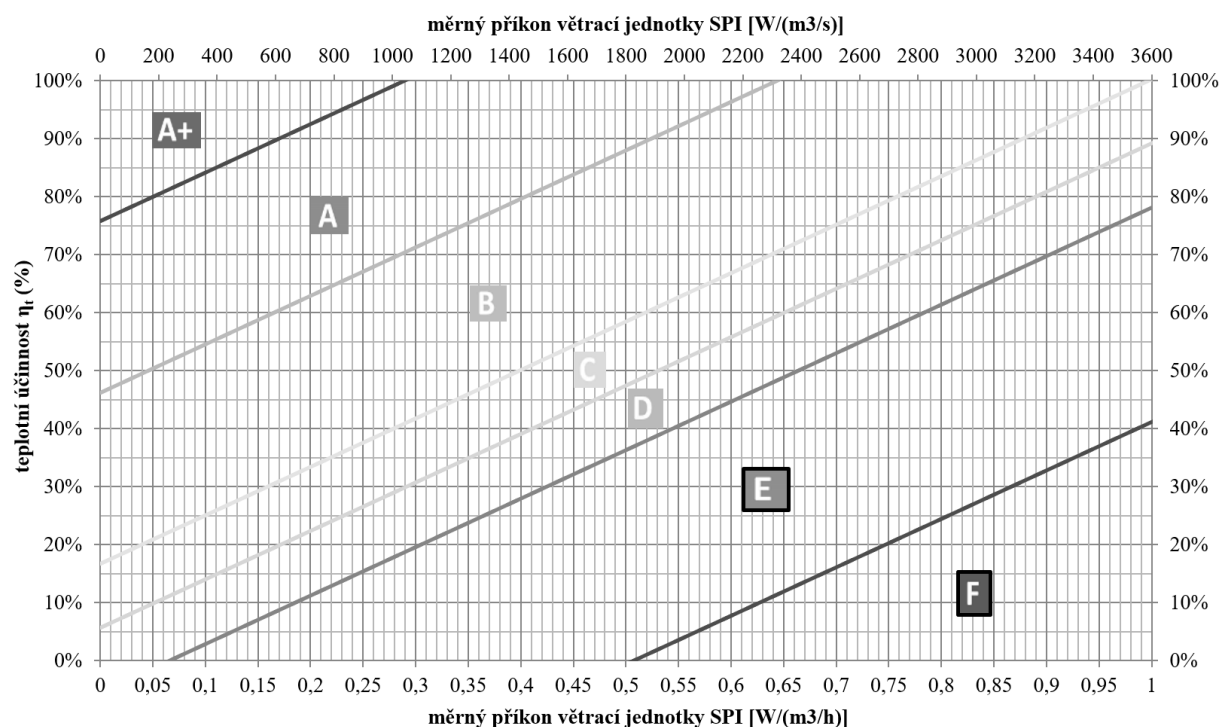
Vliv motoru ventilátoru x: motory s proměnlivými otáčkami mají oproti vícerychlostním mírně lepší hodnocení SEC rostoucí s vyššími měrnými příkony a vyšší úrovní řízení.

VLIV ŘÍZENÍ (CTRL) NA ENERGETICKOU KLASIFIKACI (SEC) VU

Graf 1 SEC klasifikace obousměrné potrubní větrací jednotky pro obytné budovy s rekuperačním výměníkem ZZT, vícerychlostní či proměnlivou regulací otáček ventilátorů, ručním řízením

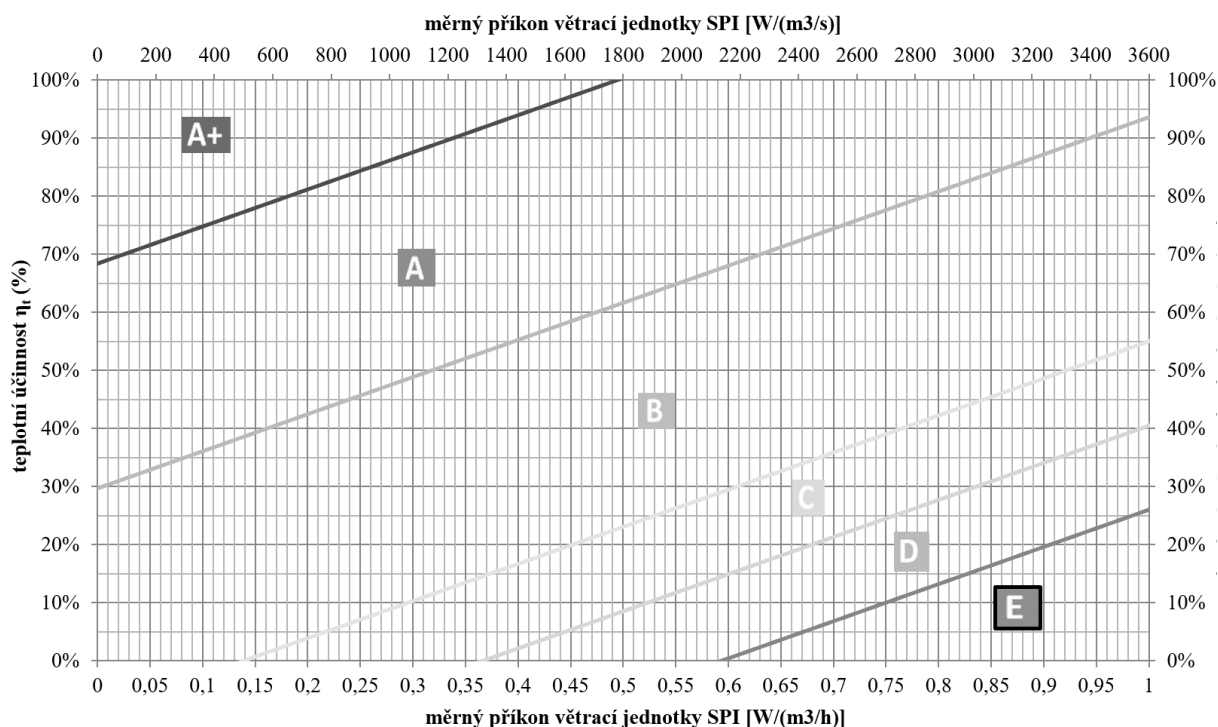


Graf 2 SEC klasifikace obousměrné potrubní větrací jednotky pro obytné budovy s rekuperačním výměníkem ZZT, proměnlivými otáčkami ventilátorů, centrálním řízením



Z grafu 2 vyplývá, že jednosměrné potrubní větrací jednotky s nulovou teplotní účinností mohou splnit nejhorší možnou energetickou třídu D pouze s centrálním řízením do max. měrného příkonu 0,06 W/(m³/h) nebo s lokálním řízením viz graf 3 níže do max. měrného příkonu 0,59 W/(m³/h).

Graf 3 SEC klasifikace obousměrné potrubní větrací jednotky pro obytné budovy s rekuperačním výměníkem ZZT, proměnlivými otáčkami ventilátorů, lokálním řízením



Měrný příkon SPI u větracích jednotek pro obytné budovy zahrnuje příkon celé jednotky (ventilátory, řízení,...) vztažený a měřený při referenčním průtoku a tlaku, kdežto vnitřní měrný příkon ventilátorů větracích součástí SFP_{int} u větracích jednotek pro neobytné budovy v jejich referenční konfiguraci zahrnuje pouze příkon ventilátorů vztažený na jmenovitý průtok jen s uvažováním vnitřních tlakových ztrát bez vnějšího tlaku jednotky a bez tlakových ztrát nevětracích součástí jako jsou např. dohřívače vzduchu apod.

Ze srovnání předchozích grafů 1,2,3 je zřejmé, že po měrném příkonu SPI a teplotní účinnosti η_t má na velikost SEC zásadní vliv faktor řízení CTRL.

Např. pro splnění třídy A větrací jednotka s ručním řízením musí mít $\eta_t=80\%$ a $SPI=0,25W/(m^3/h)=900W/(m^3/s)$, avšak jednotce s lokálním řízením postačí $\eta_t=60\%$ a $SPI=0,45W/(m^3/h)=1620W/(m^3/s)$.

V definici lokálního DCV řízení podle potřeby dle nařízení [1,2] není zcela jasné, zda čidla kvality vzduchu či dokonce zónové potrubní regulátory průtoku mají být dodávány jako součást balení větrací jednotky či samostatně. U centrální potrubní větrací jednotky je zřejmé, že tato čidla resp. regulátory ani nemohou být součástí jednotky a musí být instalovány v jednotlivých podružných pobytových větracích zónách jako součást vyššího celkového větracího systému, přičemž nařízení postihuje pouze větrací jednotky a nikoli systémy. Lze očekávat, že v nadcházející revizi se tato definice zpřesní.

V současné době v nařízení ekodesign na větrací jednotky není povinné použití filtru vzduchu a tak jednotka bez filtru paradoxně získává lepší energetické hodnocení než jednotka s filtrem, což není zcela v pořádku a doufejme se v budoucnu změní

REVIZE EKODESIGNU VĚTRACÍCH JEDNOTEK

Již v samotných nařízeních (viz Přezkum, Článek8[1] a Článek7[2]) jsou vyjmenovány oblasti dalšího možného vývoje. Od února 2019 probíhá přípravná technická analýza přezkumné studie

zpracovávaná firmou VHK a řízená VITO pro EU. První návrh pracovního dokumentu revize lze očekávat v březnu 2020, finální znění koncem roku 2020. Průběh lze sledovat na: <https://www.ecoventilation-review.eu> Dále tak lze očekávat možné změny v následujících oblastech:

- 1) Působnost nařízení: zahrnutí - větracích jednotek s příkonem menším než 30W na jeden proud vzduchu + multifunkčních větracích jednotek s vestavěným tepelným čerpadlem; vyjmutí – jednotek pro renovace historických budov, recirkulační jednotky (vytápění/chlazení) s podílem venkovního vzduchu menším jak 10%
- 2) Ověřování: změna odchylek při ověřování (SPI , η_t , SFP_{int} , η_{vu} , LWA)
- 3) Filtry: filtrační třídy dle ISO 16890 (reference: přívod ISO ePM1 50%, odvod ISO Coarse 60% či ISO ePM10 50%), rychlost vzduchu přes filtrační médium (limit 0,2-0,5 m/s), tlaková ztráta čistého a zanešeného filtru, těsnost filtru, zohlednění filtrů s nízkou spotřebou energie na energetickou účinnost
- 4) Požadavky na ekodesign: zpřísnění = změna výpočtu a limitů (SEC , $CTRL$, η_t , SFP_{int} , η_{vu} , LWA), např. zohlednění netěsnosti a přenosu vlhkosti do velikosti teplotní účinnosti
- 5) Energetické štítky: povinnost u větracích jednotek pro jiné než obytné budovy, přeškálování energetických tříd od A(zmizí A+)-G a zpřísní se limit pro dosažení třídy A, informace o použitém filtru (třída, typ), informace o kvalitě vnitřního prostředí, jiné štítky pro jednosměrné a obousměrné větrací jednotky, zobrazení hodnot pro všechny tři různé klimatické zóny, průtok a hluk jednotně buď k ref. nebo max. průtoku
- 6) Text nařízení: vyjasnění textu nařízení (zlepšení definice větrací jednotky s úpravou vzduchu pro lidi a ne technologii, zohlednění norem EN 13142, 13141-série, EN 13053, Evia/Eurovent vysvětlující dokument, lepší definice pro jmenovitý průtok)
- 7) Deklarace parametrů: SEC resp. SFP_{int} a η_t pro celou pracovní oblast a nikoli pouze pro referenční resp. jmenovitý průtok a vnější tlak = odpovídající srovnání jednotek na stejném pracovním bodě
- 8) Řízení: Větší zpřesnění vlivu druhu řízení na energetické hodnocení (nyní se např. nezohledňuje vůbec u větracích jednotek pro jiné než obytné budovy), zavedení tzv. výkonu větrání do výpočtu faktoru řízení $CTRL$ dle metodiky EVIA a EN 16798-1
- 9) Netěsnost jednotek: limity pro vnitřní a vnější netěsnost ($EATR$, $OACF$), stejná metodika měření rekuperačních a regeneračních systémů ZZT, korekce teplotní účinnosti η_5 podle velikosti vnitřní netěsnosti dle EN 13142
- 10) Odmrazování rekuperačních jednotek: min. informace o použité odmrazovací strategii

Tab. 4 Možné revidované požadavky na Ekodesign Větracích Jednotek v budoucnu

VU (větrací jednotka)		RVU (pro obytné budovy)		NRVU (pro jiné než obytné budovy)	
parametr	jednotka	UVU	BVU	UVU (jednosměrné)	BVU (obousměrné)
příkon	W	min.?	min.?	min.?	min.?
SEC	kWh/(m ² .a)	max. -?		-	-
vnější netěsnost	%	max. ?% $q_{vref.}$ @ +250Pa (potrubní)		max. ?% $q_{nom.}$ (? l/(s.m ²)) @ +400Pa (potrubní)	
vnitřní netěsnost	%	-	max. ?% $q_{vref.}$ @ 100Pa (potrubní)	-	max. ?% $q_{nom.}$ @ 250Pa (potrubní)
filtr	kvalita	přítomnost, filtrační třída, energetická náročnost		přednostně referenční konfigurace = přívod F7 / odvod M5 dle EN779 (nahrazuje ISO16890)	

$\eta_{\text{t_nrvu}}$	%	-	-	-	min. ? (jiná ZZT); min. ? (oběhová ZZT)
SFP _{int}	W/(m ³ /s)	-	-	max. ?	max. ?
					F = ? střední; ? Jemný
energetický štítek	přítomnost	povinná (třída A, B, C, D, E, F, G)		?	

ZÁVĚR

Nařízení ekodesignu větracích jednotek v současné době vytvářejí pozitivní tlak na výrobu a používání energeticky úspornějších i když dražších zařízení porovnatelných zákazníkem na Evropském trhu. Na druhou stranu vyžadují velké množství informací získávaných časově i finančně nákladným vývojem a měřením, a tak paradoxně brání dynamičtějšímu rozvoji těchto zařízení. Nyní jsou nařízení primárně zaměřena na úspory energie, avšak v budoucnu lze očekávat i zaměření na kvalitu a komfort vnitřního prostředí.

LITERATURA

- [1] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1253/2014, požadavky na ekodesign větracích jednotek, 2014
- [2] NAŘÍZENÍ KOMISE V PŘENESENÉ PRAVOMOCI (EU) č. 1254/2014, uvádění spotřeby energie na energetických štítcích větracích jednotek pro obytné budovy, 2014

SEZNAM OZNAČENÍ

VU	větrací jednotka
ZZT	zpětné získávání tepla
DCV	větrání podle potřeby

PŘÍSTUP KE VZDUCHOTĚSNOSTI A VĚTRÁNÍ BUDOV V ZAHRANIČÍ

Jiří Karásek¹, Jakub Kvasnica¹

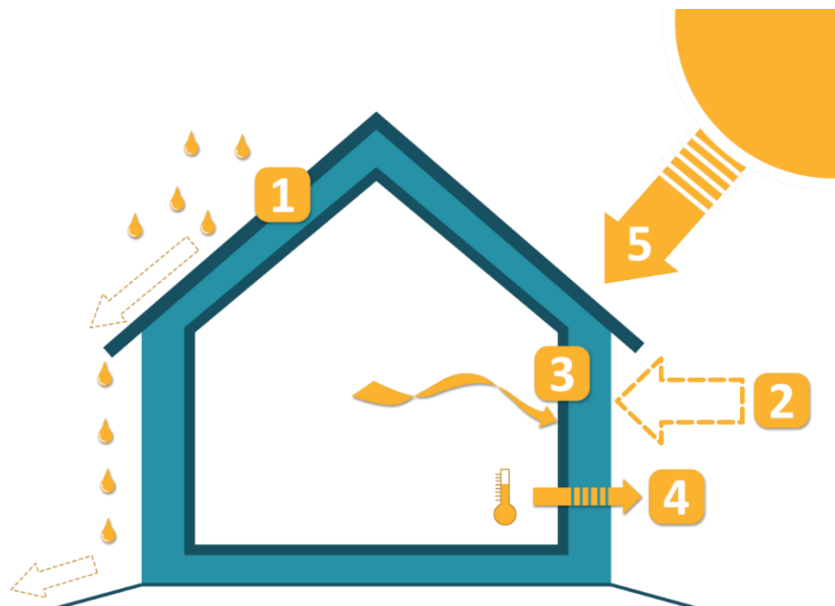
¹SEVEN, The Energy Efficiency Center, z. ú.
jiri.karasek@svn.cz, kvasnica@svn.cz

ANOTACE

Požadavky na snižování energetické náročnosti budov kladou větší důraz na vzduchotěsnost obálky budovy a s tím spojenou nutnost zajištění dostatečného větrání a patřičné kvality vnitřního prostředí. Cílem článku je srovnání přístupů k problematice vzduchotěsnosti a větrání obytných budov v různých evropských státech. Přístupy a požadavky na vzduchotěsnost a větrání ve vybraných státech byly zjištěny analýzou národních právních předpisů a technických norem. Analýzou bylo zjištěno, že požadavky a jejich závaznost se v jednotlivých státech značně liší. Různé země například používají rozdílné jednotky pro stanovení požadavků na větrání budov, přestože existuje evropská norma, která stanovuje požadavky a parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu. Jednotlivé státy přistupují k větrání budov rozdílně a s ohledem na rozdílné jednotky nejsou požadavky napříč Evropou zcela srovnatelné.

ÚVOD DO VZDUCHOTĚSNOSTI

Pro pochopení celé problematiky je nejdříve nutné vysvětlit, co se skrývá pod pojmem vzduchotěsnost obálky budovy. Vzduchotěsnost neboli také neprůvzdušnost, představuje schopnost prvku propouštět vzduch. Na budovu v průběhu roku působí mnoho různých klimatických jevů, kterým musí budova bez následků odolat. Jednou z klíčových funkcí pro odolání vlivům počasí je právě vzduchotěsnost obálky budovy, které by mělo být do určité míry docíleno u každého objektu, ale která je již naprosto klíčová zejména v případě objektů realizovaných v pasivním energetickém standardu. [1]



Obr. 1 Funkce obálky budovy: 1 – Odtok dopadající vody, 2 – Ochrana proti větru, 3 – Izolační a vzduchotěsná vrstva, 4 – Vrstva pro kontrolu páry, 5 – Ochrana proti přehřátí [2]

Vliv vzduchotěsnosti na budovu

Kvalitní provedení vzduchotěsné obálky budovy napomáhá celkové stabilitě vnitřního prostředí, nejen díky redukci množství tepelných mostů a tím snížení tepelných ztrát, což se projeví pozitivně nejen v nákladech na vytápění, ale také v eliminaci nechtěného průvanu, zvýšení zvukově izolačních vlastností a zvýšení účinnosti ventilačního systému. Je třeba zdůraznit, že kvalitně provedená vzduchotěsná obálka také umožňuje výrazně snížit až odstranit riziko kondenzace vlhkosti v konstrukcích.

Netěsnosti obálky budovy

V obálce budovy existují netěsnosti záměrné, jako jsou například větrací mřížky nebo okna, a netěsnosti „nechtěné“, kam patří různé trhliny, otvory či neutěsněné spáry, které je potřeba při návrhu objektu i při jeho výstavbě minimalizovat. Mezi nejčastější netěsnosti patří zejména nedostatečně ošetřené prostupy konstrukcemi, použití nesprávných materiálů, poškození vzduchotěsnicí vrstvy a nekvalitní provedení detailů a problematických míst.

Vzduchotěsnost a větrání

Mezi laickou veřejností občas ještě koluje pověra, že netěsnosti v obálce mohou pomoci s větráním objektu a přívodem čerstvého vzduchu. Naopak technická norma ČSN 73 0540-2:2012 jasně říká: „*V obvodových konstrukcích se nepřipouští netěsnosti a neutěsněné spáry, kromě funkčních spár výplní otvorů a funkčních spár lehkých obvodových plášťů.*“ [3] Výměnu vzduchu je tak potřeba řešit buď mechanickým větráním, nebo pomocí nuceného větrání vzduchotechnickými jednotkami.

Vzduchotěsnost se podle české normy stanovuje jednotkou celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} [h^{-1}] vyjadřující, kolik % vzduchu z celkového objemu budovy se samovolně vymění za jednu hodinu. Pro pasivní dům s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla činí hraniční hodnota $0,6 \text{ h}^{-1}$, tedy výměna max. 60 % celkového objemu vzduchu budovy za hodinu.

Ověření vzduchotěsnosti

Vzduchotěsnost se ověřuje pomocí tzv. BlowerDoor testu, kdy se využívá principů tlakového spádu. Při něm se budova „uzavře“ a zatěsní, na vstupní dveře se nainstaluje blowerdoor zařízení, které se sestává z neprodyšného plachtového uzávěru s přetlakovým a podtlakovým ventilátorem, a měří se průtok vzduchu V_{50} při referenčním tlakovém rozdílu, zpravidla 50 Pa. Na základě poklesu tlaku se určí hodnota neprůvzdušnosti. Jedná se o standardizovanou metodu, která se dá využít jak na dokončený objekt, tak i během výstavby, díky čemuž je možné dohledat případné nedodělky a chyby ještě v době, kde je relativně snadné je opravit. [4]

EVROPSKÁ NORMA EN 15251

Uvedená norma vymezuje, jakým způsobem lze stanovit a používat návrhová kritéria pro dimenzování systémů budovy. Určuje, jak stanovit a definovat hlavní parametry, které se používají jako vstupní informace pro posouzení energetické náročnosti budovy. [5]

Kvalita vnitřního vzduchu

Kvalita vnitřního vzduchu značně ovlivňuje chování, náladu i produktivitu člověka, ale neexistuje pro ni žádný obecný ukazatel. Kvalita vnitřního vzduchu podle evropské normy závisí zejména na třech kritériích – odvod znečišťujících látek ve vlhkých místnostech, celkové větrání všech místností v bytě a větrání všech místností v bytě s přívodem čerstvého vzduchu dle kritérií do hlavních místností. Kvalita se tedy dá vyjádřit požadovaným průtokem větracího vzduchu nebo koncentrací CO_2 .

V případě kvality se neřeší teplota vzduchu nebo průvan, ale hlavně škodliviny. Ty mohou být vnitřní, např. od lidské činnosti (CO_2 , vlhkost), vybavení budovy (koupání a vaření – vlhkost,

WC a kuchyně – zápach), materiálů budovy (emise různých částic) přes samotné systémy řízení prostředí (neměnné filtry – plísňe), nebo vnější (prach a zápachy z ulice). Obecně se dá říci, že pokud je splněno požadované větrání, jsou splněny i požadavky na kvalitu vnitřního vzduchu.

Přístupy k hodnocení větrání

Norma EN 15251 rozděluje budovy do tří kategorií podle míry znečištění vnitřního prostředí. Doporučené návrhové průtoky větracího vzduchu pro celou budovu pro každou kategorii se pak uvádí buď pomocí intenzity větrání v h^{-1} nebo přes průtok vzduchu v $\text{l}/(\text{s.m}^2)$.

Průtok vzduchu $0,35 - 0,49 \text{ l}/(\text{s.m}^2)$, uvedený v tabulce č. 1, odpovídá intenzitě $0,5 - 0,7 \text{ h}^{-1}$ při výšce místností $2,5\text{m}$. Intenzita větrání $0,3 - 0,5 \text{ h}^{-1}$ uplatňovaná v České Republice odpovídá průtoku vzduchu $0,21 - 0,35 \text{ l}/(\text{s.m}^2)$.

Tab. 1 Porovnání požadavků na větrání v obytných budovách a obytných místnostech ve vybraných státech Evropy podle národních standardů a podle studie BPIE [6]

Země	Standard	Budova celkem	Obývací pokoj [l/s]	Kuchyně [l/s]	Koupelna a WC [l/s]	Pouze WC [l/s]
EU	EN 15251	0,35-0,49 $\text{l}/(\text{s.m}^2)$	0,6-1,4 $\text{l}/(\text{s.m}^2)$	14-28	10-20	7-14
Německo	DIN 1946-6	4-80 l/s	-	14	14	7
Itálie	Vyhláška 192/2005	0,3-0,6 objemu/h	0,011 m^3/s	-	4 objemy/h	10
Polsko	Zákon PN-83/B-03430	5,5 $\text{l}/(\text{s.os.})$	5,5-8,0 $\text{l}/(\text{s.os.})$	7-20	14	8
UK	Approved Document F	13-29 l/s	-	13-60	8-15	6
Belgie (Brusel)	NBN D 50-001	1,0 $\text{l}/(\text{s.m}^2)$	21	21	14	7
Dánsko	BR10	Min. 0,3 $\text{l}/(\text{s.m}^2)$	Min. 0,3 $\text{l}/(\text{s.m}^2)$	20	15	10
Francie	Arrêté 24.03.82	2,7-37,5 l/s	-	6-11	-	Min. 4
Švédsko	BFS2014:13 – BBR21	0,35 $\text{l}/(\text{s.m}^2)$	-	-	-	-
Bulharsko	-	-	-	-	-	-
Rakousko	Směrnice OIB-330.3-009/15	25 $\text{m}^3/(\text{h.os.})$	-	-	-	-
Chorvatsko	Normy EN a DIN	min 0.5 l/h	-	-	-	-
Irsko	Document F-Ventilation	5 + 4 $\text{l/s} + \text{l}/(\text{s.os})$	8	13	8	6
		0,3-0,5	15-25	100	50	25

Česká republika	ČSN EN 15665/Z1	objemu/h	m ³ /(h.os.)	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
--------------------	--------------------	----------	-------------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Tabulka č. 1 ukazuje rozdílné požadavky na větrání v obytných budovách ve vybraných evropských státech. Pokud není u hodnoty uvedena jednotka, platí jednotka v nadpisu tabulky. V případě budovy jako takové a obývacího pokoje (ložnice) se jedná o přívod čerstvého vzduchu, zatímco u kuchyně, koupelny a WC se většinou jedná o odvod odpadního vzduchu.

ANALÝZA POŽADAVKŮ NA VĚTRÁNÍ

Jak ukazuje tabulka č. 1, přestože existuje oficiální evropská norma, kterou by se jednotlivé členské státy měly řídit a zapracovat ji do své legislativy, skutečnost je jiná. Různé země používají rozdílné jednotky i přístupy pro stanovení požadavků na větrání budov, které se liší jak od evropské normy, tak od sebe navzájem, což velice komplikuje jakékoliv bližší srovnání.

Určitou možností je převést údaje na jednu hodnotu, například v m³/h, l/s nebo v h⁻¹, přičemž 1 l/s ~ 3,60 m³/h, respektive 1 l/s.m² ~ 1,43 h⁻¹, nicméně i zde se vyskytují komplikace, jednak v zaokrouhlování hodnot, jednak v případě použití veličin, které nejdou převést či vzájemně srovnat. Některé veličiny se vztahují pouze k času, některé zohledňují velikost větraných prostor, počet obytných místností nebo počet obyvatel.

Princip analýzy

Porovnání požadavků na větrání mezi jednotlivými státy Evropy bylo založeno na analýze dostupných standardů, směrnic a jiných oficiálních dokumentů určujících požadavky na větrání. Analýza navazuje na studii BPIE z roku 2015 [6], kterou dále rozšiřuje o další evropské země a nové poznatky.

Analýza vybraných států

Následující text rozebírá některé státy, které se výrazně odlišují od standardu EU nebo nebyly podrobně zmapovány ve studii BPIE [6]. U ostatních zemí jsou standardy na větrání a neprůvzdušnost nastaveny již v národních dokumentech a pouze oscilují kolem hodnot uváděných v normě EN 15251, nebyly proto dále rozebírány.

BULHARSKO

V Bulharsku nejsou dány žádné požadavky na vzduchotěsnost. Ve všech obytných prostorech a prostorech se specifickými potřebami je vyžadováno mechanické nebo přirozené větrání, v případě ventilace s rekuperací je vyžadována účinnost alespoň 70 %. V praxi se ovšem většina budov navrhuje bez mechanického větrání.

RAKOUSKO

Podle směrnice OIB-330.3-009/15 musí být obytné a hygienické prostory dostatečně větrány přímo do venkovního prostoru (např. okny, dveřmi) a pokud nelze zajistit, musí být realizováno nucené větrání. Většinou se přebírají stavební předpisy jednotlivých spolkových zemí a směrnice Spolkového ministerstva ŽP pro hodnocení vnitřního prostředí budov, která jako vodítko pro přívod čerstvého vzduchu do obytných prostor udává hodnotu 25 m³/(h.os.). [7] Požadavky na vzduchotěsnost jsou v Rakousku srovnatelné s Českou republikou a pohybují se dle způsobu větrání od 0,6 h⁻¹ pro pasivní domy do 3,0 h⁻¹ pro přirozené větrání.

CHORVATSKO

V Chorvatsku se požadavky na větrání určují na základě výpočtových metod převzatých z norem EN a DIN. Pro obytné prostory činí minimální povinná intenzita větrání 0,5 l/h nebo více v závislosti na systému větrání a požadovaných tepelných parametrech. Pro nebytové

prostory je standardní minimální požadovaný proud vzduchu převzat z DIN V 18599-10(4) a jeho rozptyl se pohybuje od desetin až po vyšší desítky $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.

IRSKO

V Irsku jsou požadavky na větrání stanoveny ve stavebním předpisu [8], vycházejícím z obecné normy, která stanovuje celkem dosáhnout za sledovaný prostor větší hodnotu ze základu $5 \text{ l/s} + 4 \text{ l/s}$ na osobu nebo $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ podle plochy, a dále stanovuje parametry pro nucený odvod odpadního vzduchu pro různé místnosti (viz tabulka č. 1).

ZÁVĚR

V článku byly srovnány požadavky na větrání v obytných budovách v jednotlivých evropských státech, jak mezi sebou, tak i vůči evropské normě.

Evropská norma EN 15251 udává požadavky na intenzitu větrání v budovách, národní předpisy evropských států se ovšem často i značně odlišují. Naskytá se samozřejmě otázka, zda hodnoty uvedené v evropské normě jsou dostačující či vhodné pro všechny evropské státy, protože mezi jednotlivými státy, zejména pokud se budou porovnávat severní země s jižními nebo přímořské s vnitrozemskými, jsou značné rozdíly v klimatických podmínkách. Rozdílná kvalita venkovního vzduchu (teplota, vlhkost, znečištění, rychlost proudění) pak dále vymezuje možnosti, jak se vzduchem nakládat, což ovlivňuje i technické požadavky na obálku budovy a systémy větrání a vytápění. Určité přizpůsobení hodnot tedy nemusí být úplně od věci.

Na druhou stranu, případné harmonizování předpisů zabývajících se větráním, byť jen ve sjednocení používaných veličin, by mohlo v některých oblastech návrhu budov výrazně pomoci. Výhody by mohly spočívat například v jednodušším porovnávání staveb mezi sebou po stránce zajištění kvality vnitřního prostředí, v ucelení výpočtové metody pro větrání, jak pro projektanty, tak pro dodavatele vzduchotechniky, nebo ve zjednodušení účasti na zahraničních projektech, kdy je často nutné se seznámit se všemi místními předpisy a nařízeními, jejichž rozdílnost, horší porovnatelnost či „nezažitost“ mohou být komplikací.

Samostatnou kapitolou je i vlastní zajištění kvality vnitřního prostředí budov u států, které toto příliš neřeší nebo řeší zatím nedostatečně, ale které by se na tuto problematiku měly více zaměřit. Zajištění dobrého kvalitního prostředí má své prokazatelné přínosy, jak pro zdraví, tak pro produktivitu obyvatel a tím i pro celou společnost, které by se proto neměly podceňovat a měly by se důkladně a bez rozdílu uplatňovat v návrhu všech budov.

LITERATURA

- [1] HAZUCHA, J. „Neprůvzdušnost, zkouška kvality,“ Centrum pasivního domu, 5 1 2014. [Online]. Available: <https://www.pasivnidomy.cz/webove-infolisty-08-kvalita-neprovzdušnost/f2528>. [Přístup získán 15 6 2019].
- [2] Passive House Academy, „Airtightness, Vapour Control and Windtightness,“ County Wicklow, 2019.
- [3] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] LESCHINGEROVÁ, M. „K čemu je test neprůvzdušnosti a proč je tak důležitý?,“ Narrative Media s.r.o., Praha, 2013.
- [5] ČSN EN 12251 *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

- [6] KUNKEL, S. *Indoor air quality, thermal comfort and daylight*. Analysis of residential buildings regulations in eight EU member states, BPIE, 2015. ISBN: 9789491143106
- [7] TAPPLER, P. Richtlinie zur bewertung - kohlenstoffdioxid als lüftungsparameter, Wien: Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2017.
- [8] Department of Housing, Planning and Local Government, Buildings Regulations 2019 - Technical Guidance Document F - Ventilation, Dublin: Government Publications, 2019.

TEPELNĚ VLHKOSTNÍ PROBLEMATIKA KLIMATIZOVANÉ HISTORICKÉ BUDOVY

Ing. Petr Kotecký, Ph.D., Ing. Jan Antonín, Ph.D., Ing. Matouš Juráň, Bc. Dominik Čákl

EnergySim s.r.o

petr.kotek@energysim.cz, jan.antonin@energysim.cz

ANOTACE

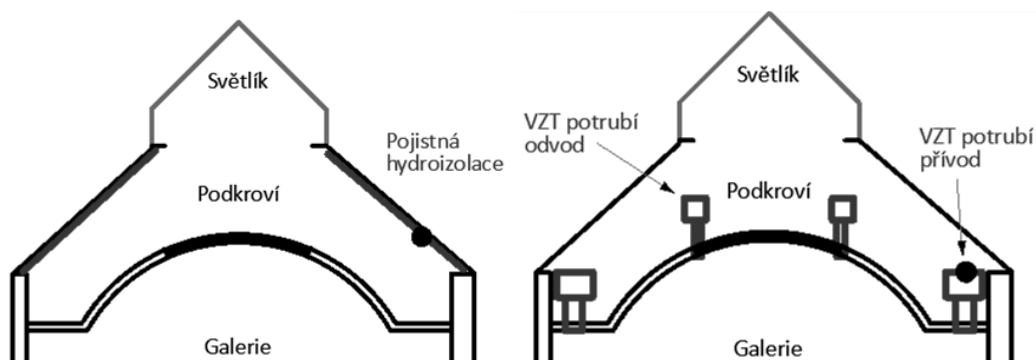
Mění se potřeby na využití vnitřních prostor v historických budovách vede k požadavkům na úpravu tepelně vlhkostního mikroklima v souladu s hygienickými předpisy, požadavky technologie a požadavky investora na budoucí využití objektu. K úpravě vzduchu a zajištění požadované čistoty, teploty a vlhkosti vzduchu v posuzovaném objektu slouží klimatizace, u které se požaduje, aby fungovala automaticky, komfortně, celoročně, ekonomicky a zdravotně nezávadně. Předpoklad správně fungující klimatizace je projekt VZT, realizace v koordinaci s ostatními profesemi na stavbě a následně pravidelně spravovaný provoz zařízení. Nesoulad tohoto postupu může vést k netěsnosti napojení transportních VZT prvků, úniku vlhkého vzduchu a následné kumulaci vlhkého vzduchu v prostoru, kde odvětrání není umožněno z důvodů konstrukčního a architektonického řešení budovy.

ÚVOD

Příspěvek se zabývá tepelně-vlhkostní problematikou nově zrekonstruovaného historického objektu galerie v lokalitě s venkovní výpočtovou teplotou $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde je pomocí klimatizace cíleně upravováno vnitřní prostředí na celoroční konstantní podmínky s vnitřní teplotou $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkostí 55 %.

Předmětem analýzy, výpočtů a měření tepelně technických parametrů byla identifikace problému v nevytápěném podkroví nad touto galerií, kde v zimních měsících dochází k nadměrné kondenzaci vodních par na ochlazených plochách konstrukcí v podkroví (krokve, latě, hydroizolační folie, světlík z dráto-skla aj.). Tento kondenzát stéká skrz stropní konstrukci do oblasti galerie a působí značné viditelné poruchy maleb, štuků aj. Cílem studie byla identifikace příčin nadměrné vlhkosti v podkroví a odstranění těchto příčin. V příspěvku jsou popsány, analyzovány a měřeny tři možné příčiny nadměrné vlhkosti v podkroví:

- 1/ Pronikání vlhkosti z vnitřního prostředí do podkroví skrz stropní konstrukci.
- 2/ Aplikace nevhodné pojistné hydroizolace pod střešní krytinu s vysokým difuzním odporem
- 3/ Únik vlhkosti z VZT potrubí procházející nevytápěným podkrovím.



Obr. 1 Schéma podkroví se světlíkem

POPIS SOUČASNÉHO STAVU PO REKONSTRUKCI OBJEKTU

Hlavní světlík galerie je památkově chráněn a zůstal beze změn. Jedná se pouze o jednosklo s vnitřní výztužnou mřížkou (dráto-sklo). Jednotlivá skla jsou vsazena do železných rámců se značnou infiltrací. V místech, kde docházelo k přímému zatékání srážkových vod, byla jednotlivá zasklení zatmelena. Celková plocha starého světlíku je odhadem cca 300 m².

Nově byl vybudovaný „vnitřní“ pohledový světlík z tepelně izolačního mléčného zasklení „ditherm“. Tento světlík byl zavěšen na nové ocelové konstrukci v mezisvětlíkové části a osvětlen z vnější strany zářivkovým osvětlením. Po stranách světlíku bylo instalováno odtahové vzduchotechnické potrubí (velkoplošné vyústky).

Po uvedení objektu a samotné galerie do provozu byl identifikován problém stékání vody (kondenzátu) na vnějším starém světlíku. Problém byl provizorně vyřešen transparentní igelitovou folií nataženou pod starým světlíkem, která svádí kondenzát do dešťových vnitřních svodů a tato „kanalizace“ byla zaústěna do vnějších hlavních okapů galerie.

V rámci rekonstrukce byla také aplikována černá pojistná hydroizolace mezi krokve pod střešní krytinou. Na základě ČSN 73 1901 by tato pojistná folie pod střešní krytinou měla být aplikována všude, ale správná s účinně propustnou pro vodní páru (difúzně otevřená), aby nijak významně neomezovala difúzi vodní páry. Dále norma uvádí, že podstřešní prostor by měl být taktéž vhodně provětrán. Nicméně tam, kde je tato vrstva aplikována, se snížila také přirozená infiltrace, provětrávání prostoru podkroví a potenciální vlhkost, která se v prostoru podkroví z jakékoli důvodu hromadí, není odvětrána. Funkce této vrstvy byla experimentálně ověřena a zjistilo se, že tato vrstva funguje jako parobrzda a nepropouští tedy takřka žádnou vodní páru do exteriéru.

V rámci rekonstrukce bylo dále instalováno nucené větrání všech prostor galerie, knihovny, kavárny, chodeb aj. prostor. V budově jsou vzduchotechnické jednotky o celkovém přívodu vzduchu cca 41 000 m³/h, z toho 34 560 m³/h je upravováno/adiabaticky vlhčeno a potrubím, které prochází podkrovím, je přiváděno do prostor galerie. Veškerá VZT potrubí vedená v prostoru podkroví budovy jsou opatřena tepelnou izolací z minerální vlny tl. 100 mm.



Obr. 2 z prostoru galerie a zájmová „mezisvětlíková“ část nad galerií

POPIS SOUČASNÉHO PROBLÉMU S KONDENZACÍ VODY

Problémy s nadměrnou kondenzací začaly vznikat po rekonstrukci objektu v roce 2013.

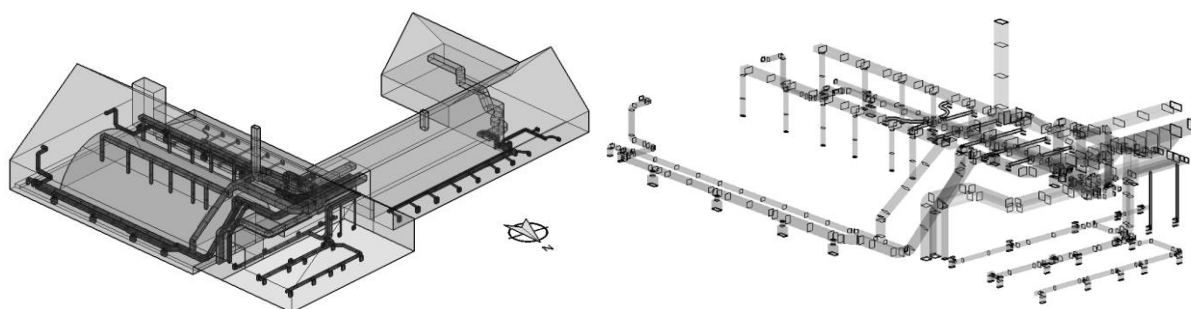
V podkroví se skleněným světlíkem vzniká při určitých klimatických poměrech nadměrná kondenzace vodní páry na konstrukci světlíku, která dále skapává do prostoru podkroví. Pod venkovním světlíkem je realizována improvizovaná pojistná hydroizolace. Vlivem nadměrné kondenzace vodních par je poškozována nosná dřevěná konstrukce střechy. Na mnoha místech byla dotykem zjištěna nadměrná vlhkost v tepelné izolaci VZT potrubí. V kritickém místě byla odkryta ALU folie a byla zjištěna přítomnost vody v tepelné izolaci. Tepelná izolace byla plně nasycena vodní párou.



Obr. 3 Poškozená omítka stropu a nadměrná kondenzace vodní páry v prostoru podkroví.

ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ TEPELNOU VODIVOSTÍ A ÚNIKEM PŘI TRANSPORTU

Z důvodu absence dokumentace skutečného provedení byl proveden výpočtový 3D model, který byl využit pro stanovení výkazu ploch VZT potrubí za účelem stanovení plochy tepelné izolace, kterou je opatřeno vzduchotechnické potrubí. Dále byl vygenerován výkaz výměr přírub vzduchotechnického potrubí, jako potenciální zdroj unikající vlhkosti z důvodu nedokonalého spoje, pro prostor podkroví galerie.



Obr. 4 3D model vedení VZT potrubí, pohled od severozápadu, výkaz přírub

Tab. 1 Výkaz ploch a přírub VZT potrubí s upraveným vzduchem

Výkaz ploch VZT potrubí s upraveným vzduchem v měřených úsecích podkroví	
Součet m ² vzduchotechnického potrubí v úseku: "podkroví pod světlíkem"	457,2
Součet m ² vzduchotechnického potrubí ve všech měřených úsecích podkroví	881,3
Výkaz přírub VZT potrubí s upraveným vzduchem v měřených úsecích podkroví	
Celková délka v m v úseku: "podkroví pod světlíkem"	486,6
Celková délka v m ve všech měřených úsecích podkroví	938,1

Na základě výkazu ploch VZT potrubí byla vypočtena tepelná ztráta potrubí, které prochází podkrovím při návrhové teplotě uvnitř potrubí 22 °C a změřeného extrému nevyt. podkroví (-9) °C. Porovnány jsou dva stavy.

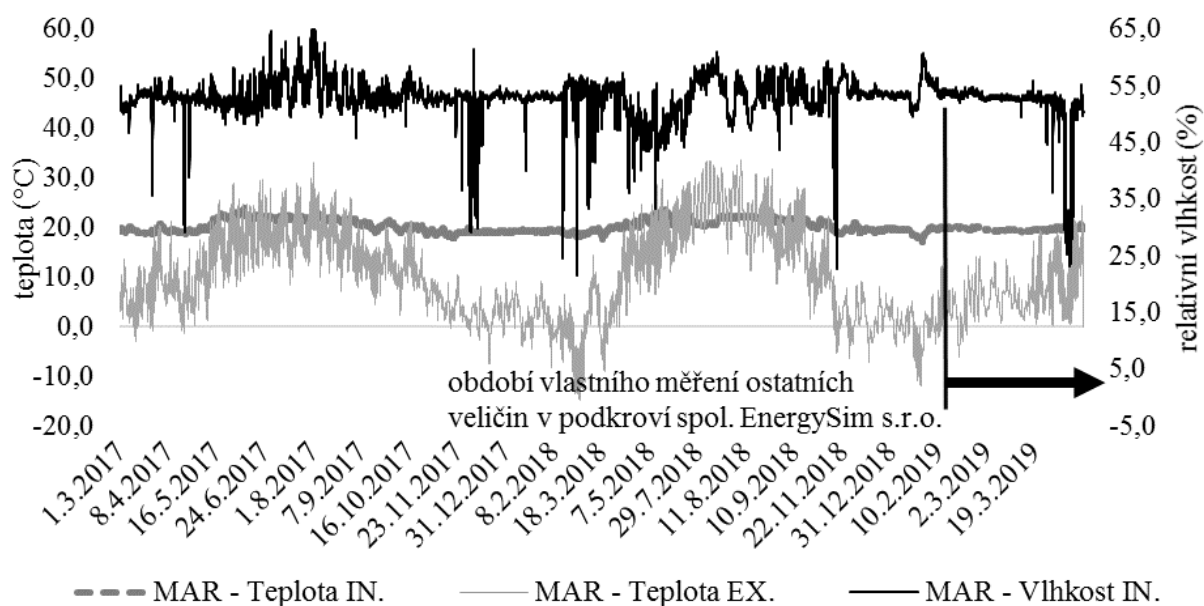
Stav, kdy byla tepelné izolace nová, suchá, byla tepelná ztráta potrubí cca 18 kW. V průběhu posledních let však tepelná izolace degradovala. V zimních měsících je velmi vlhká, až mokrá (viditelné úkapy vody) a za předpokladu mokré tepelné izolace a zhoršení tepelně technických vlastností byla tepelná ztráta potrubí vypočtena na cca 40 kW.

V rámci studie byla na řadě míst izolace záměrně odkryta a v místě přírub byla měřena rychlost proudění vzduchu pomocí anemometru. I když jsou příruby opatřeny těsněním, byla naměřena nepatrná rychlost proudění vzduchu v rozmezí 0,02-0,05 m/s.

Jelikož nebylo možné odkrýt tepelnou izolaci v celé rozsahu, byla netěsnost stanovena na základě normy ČSN EN 1507, ČSN EN 12237 - třída netěsnosti A. Míra úniku vzduchu 11 %, což představuje objem unikajícího vzduchu celkově pro přívod i odvod 7718 m³/h ve všech měřených úsecích podkroví. Při extrémně chladných krátkodobých teplotách může dle psychrometrických diagramů zkondenzovat až 9l vody za hodinu.

MĚŘENÍ TEPLITY A VLHKOSTI

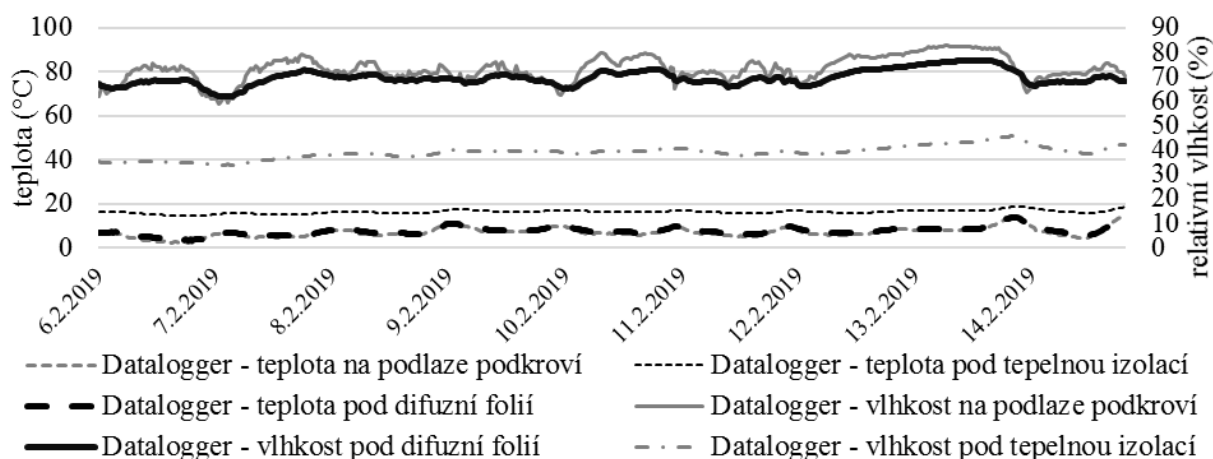
Měřicí aparatura zaznamenávala data 79 dnů (od 19. 2. 2019 do 26. 4. 2019). Krok měření byl nastaven na všech čidlech 15 minut. Celkový počet naměřených hodnot z čidel 227 520.



Obr. 5 Vnitřní a venkovní teplotní a vlhkostní extrémy MAR před a v průběhu samotného měření

Analýza pronikání vodní páry skrz stropní konstrukci pod světlíkem

Níže v grafu (Obr. 6) jsou pak měřené hodnoty teplot a relativní vlhkosti v konstrukci. Z grafu je patrné, že v konstrukci pod tepelnou izolací, kde je největší potenciál vzniku kondenzace, je vata suchá a relativní vlhkost je kolem 30-40%.



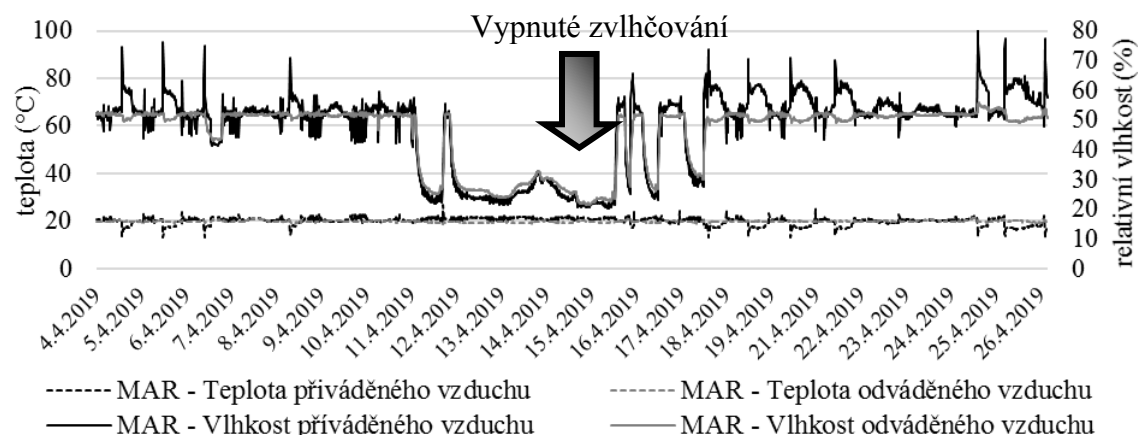
Obr. 6 Pronikání vodní páry do podkroví skrz stropní konstrukci pod světlíkem

POSOUZENÍ PRONIKÁNÍ VODNÍ PÁRY SKRZ STROPNÍ KONSTRUKCI POD SVĚTLÍKEM

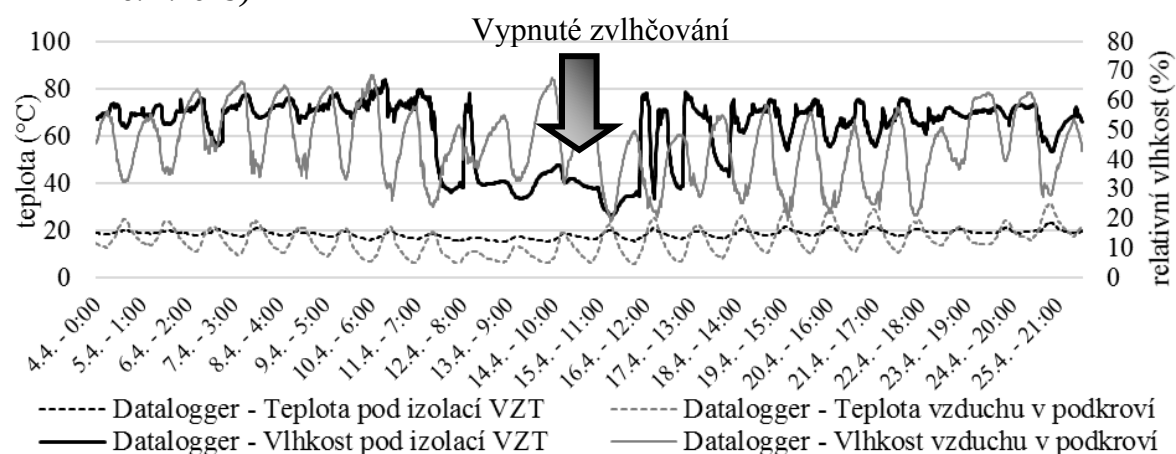
Výpočtem a měřením bylo prokázáno, že ve stropní konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry a jedná se o difuzně otevřenou konstrukci. Přestože se jedná o difuzně otevřenou konstrukci, bylo výpočtem prokázáno, že její celkové množství difundované vodní páry přes difuzně otevřenou plochu v úseku „podkroví pod světlíkem“ je poměrně nízké a to v rozmezí 40g/hod – 60g/hod. Celkové množství difundované vodní páry přes difuzně otevřenou plochu v úseku „podkroví pod světlíkem“ je poměrně nízké a to přibližně v rozmezí 1 litru vody až 1,5 litru vody za 24 hodin.

Analýza pronikání vodní páry skrz VZT potrubí procházející podkrovím

Grafy níže (Obr. 7, Obr 8.) jsou měřené hodnoty dat z MaR a zpracovatelem. Vlhkost v podkroví, velmi kolísá především vlivem venkovního prostředí. Vlhkost v tepelné izolaci je pak vesměs konstantní v rozmezí 65-70 %. Zásadním momentem bylo období mezi 11.4.-15.4.2019, kdy VZT jednotka nezvlhčovala a kde je názorně vidět pokles vlhkosti v tepelné izolaci na hodnotu až 30 % a následný opětovný nárůst vlhkosti v izolaci 15.4. na hodnotu cca 60-70 % vlivem opětovného zapnutí zvlhčování. Toto období je níže označeno šipkou.



Obr. 7 Teplota a relativní vlhkost přiváděného a odváděného vzduchu do galerie (4. 4.2019 – 26. 4.2019)



Obr. 8 Průběh teplot a vlhkostí pod a nad tepelnou izolací přívodního potrubí

POSOUZENÍ PRONIKÁNÍ VODNÍ PÁRY SKRZ STROPNÍ KONSTRUKCI POD SVĚTLÍKEM

Porovnáním grafů (Obr. 7, Obr. 8) je jasné patrné, že vlhkost v tepelné izolaci přesně kopíruje vlhkost uvnitř VZT potrubí přiváděného vzduchu. Tedy pokud je přiváděný vzduch suchý, vyschne i velmi rychle tepelná izolace na potrubí. Pokud by bylo potrubí těsné, k tomuto jevu by nedocházelo.

ZÁVĚR

Analyzovaný problém	Závěr
Pronikání vlhkosti stropní konstrukcí mezi galerií a podkrovím	Měřením a výpočtem bylo prokázáno, že ve stropní konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry. Pouze nepatrné množství vodní páry na celé ploše podkroví projde skrz skladbu stropu.

	Celkově se jedná o cca 40–60 g/hod, tedy 1–1,5 l za 24 hodin.
Nedostatečné provětrávání podkroví	Aplikací černé pojistné hydroizolace na řadě míst střešní konstrukce došlo k zamezení přirozeného provětrávání podkroví. Pojistná hydroizolace funguje jako parobrzda a jakákoli vlhkost pronikající do prostor podkroví není odvětrána ven do exteriéru jako u klasických starých nevytápěných podkroví.
Netěsnost VZT potrubí a pronikání vlhkosti do podkroví	Měření prokázalo, že toto je největší příčina vzniku vlhkosti ve všech úsecích podkroví. Adiabaticky upravovaný vzduch vede v prostorech nevytápěného podkroví a díky netěsnosti a tlaku v potrubí tento vlhký vzduch proniká také do prostoru podkroví. Tato vlhkost se zcela neodvětrá a pak na studených površích kondenzuje. Při extrémně chladných krátkodobých teplotách může zkondenzovat až 9l vody za hodinu – cca 200 litrů/24 h. Jedinou možností, jak zamezit této kondenzaci je přeizolování a přetěsnění všech přírub VZT potrubí.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1507: 2006 Větrání budov – Kovové plechové potrubí pravoúhlého průřezu – požadavky na pevnost a těsnost
- [2] ČSN EN 12237: 2003 Větrání budov – Potrubí – Pevnost a těsnost kovového plechového potrubí kruhového průřezu

ADAPTIVNÍ VĚTRÁNÍ: NUMERICKÝ MODEL, JEHO EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ A MOŽNOST POUŽITÍ V PRAXI

Michala Lysczas, Karel Kabele

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov
michala.lysczas@fsv.cvut.cz

ANOTACE

V příspěvku jsou prezentovány výsledky simulace adaptivního větrání u budov bez trvalého užívání a jeho vliv na kvalitu vnitřního prostředí. Výsledky jsou získané pomocí numerického modelu, který ve zjednodušené formě funguje na fyzikálních principech zachování energie. Kalibrace modelu byla provedena na základě dat, získaných při monitoringu řešených objektů. Pomocí modelu je možné aplikovat vhodný algoritmus pro načasování přísunu venkovního vzduchu a tím tak dosáhnout přiblížení požadovaných parametrů vnitřního prostředí s minimálními požadavky na vloženou energii. Funkčnost modelu byla ověřena experimentálním měřením v laboratoři. Za tímto účelem bylo vyvinuto zařízení, které je schopno vyhodnotit aktuální stav vnitřního prostředí ve vztahu k aktuálním klimatickým datům a dát pokyn k přísunu venkovního neupraveného vzduchu.

Cílem příspěvku je poukázat na přínosy a limity adaptivního větrání, ukázat možnosti jeho použití a zhodnotit vliv na kvalitu vnitřního prostředí.

ÚVOD

Značná část objektů bez instalovaných systémů na úpravu vnitřního prostředí se potýká s nevyhovujícím tepelně vlhkostními parametry. Ve velké míře se jedná o historicky cenné interiéry, u kterých není instalace systémů upravující vzduch možná nejen z ekonomického hlediska, ale je náročná i samotná realizace [1]. Ve snaze zlepšení situace jsou tyto interiéry často přirozeně větrány, což bohužel vede ve většině případů spíše k opačnému efektu v důsledku špatného načasování a značných výkyvů vlhkosti, které jsou pro přirozené větrání venkovním vzduchem typické [2].

V těchto případech se nabízí využití adaptivního větrání, které při správné definici algoritmu, dokáže vést ke zlepšení podmínek s minimální vloženou energií. Algoritmus řízení adaptivního větrání bere v úvahu změny teploty a vlhkosti interiéru a exteriéru a na základě vyhodnocení okamžitého stavu obou prostředí stanoví, zda je vhodné změnit aktuální intenzitu větrání venkovním vzduchem. To může být zajištěno např. světelnou signalizací pro otevření okna správcí objektu [3], nebo v případě nedostatečného tlaku pro zajištění přirozeného větrání vzduchotechnickým zařízením s ventilátorem [4].

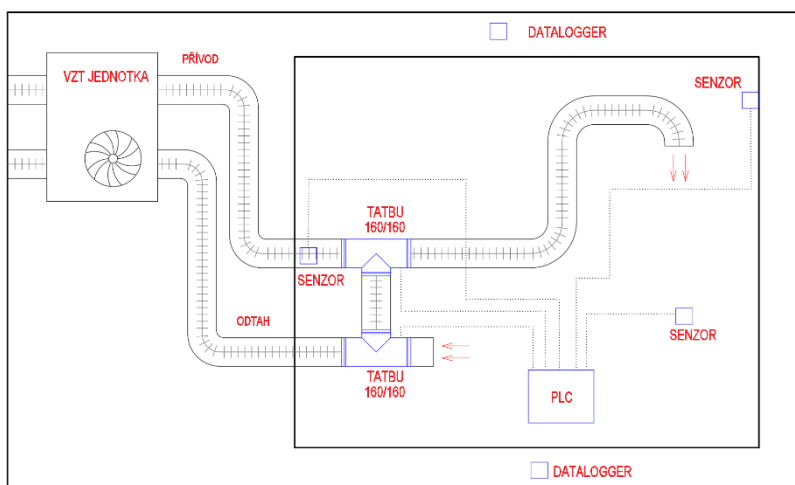
V příspěvku je prezentován zjednodušený numerický model, který byl vytvořen pro ověření vlivu adaptivního větrání na tepelně-vlhkostní mikroklima interiéru. Tento model byl verifikován laboratorním měřením. K tomuto účelu byla navržena a zkonstruována řídicí jednotka VentNavigator, programovatelná a ovládaná přes webové rozhraní v prostředí Mosaic. V jednotce je implementován algoritmus vyhodnocující venkovní a vnitřní podmínky a dávající pokyn k větrání interiéru venkovním vzduchem. V případě použitého laboratorního experimentu tato jednotka ovládá přívod a odvod vzduchu do měřicí kabiny. Cílem tohoto projektu je ověření numerického modelu a následné použití modelu pro ověření účinku adaptivního větrání v reálném objektu.

NUMERICKÝ MODEL A JEHO LABORATORNÍ OVĚŘENÍ

Za účelem ověření efektu adaptivního větrání byl vytvořen zjednodušený model, který pracuje na principu regresní metody z naměřených dat v reálném objektu. Výpočet závisle proměnných veličin T_i (teplota vzduchu) a T_m (teplota konstrukce) byl stanoven na základě metody tepelné rovnováhy, která je založena na zákonu zachování energie. 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 relativní vlhkosti v předchozím kroku. Více o numerickém modelu je uvedeno v lit. [5].

Popis laboratoře a jejích zařízení

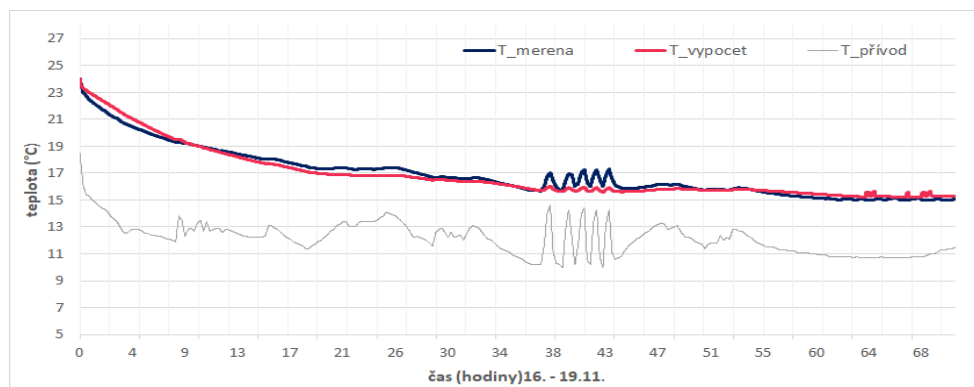
Funkčnost modelu byla ověřena laboratorním měření v měřicí kabině. Měřicí kabina je izolovaná místnost o objemu 30 m³, do které je přivedeno potrubí s přívodem venkovního neupraveného vzduchu. Časování přívodu venkovního vzduchu zajišťuje PLC panel, který v případě nevyhovujících klimatických podmínek pro větrání venkovním vzduchem uzavře přívod vzduchu do místnosti (obr. 1). Množství přiváděného vzduchu bylo stanoveno měřením rychlosti průtoku vzduchu v přívodním potrubí.



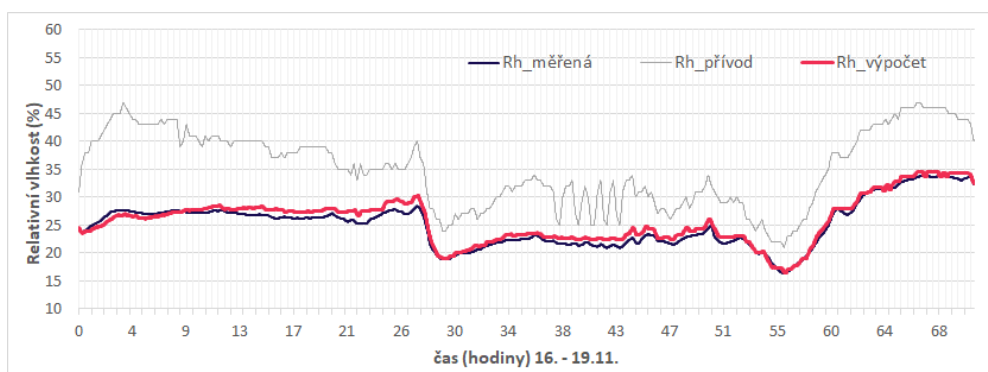
Obr. 1 Schéma zapojení PLC panelu pro řízené větrání měřicí komory

Výsledky ověření modelu

Kontrolní ověření modelu proběhlo pro období 16. – 19. 11., kdy byl větrací algoritmus nastaven na úpravu teploty vzduchu v kabině na 15 °C. Stejný algoritmus byl aplikován do numerického modelu. Porovnání výsledků z měření v laboratoři a vypočtených hodnot numerického modelu je patrný na obr. 2 a 3. Vypočtené hodnoty průběhu teploty vzduchu (obr. 2) a relativní vlhkosti vzduchu (obr. 3) vykazují shodný průběh s hodnotami získanými z měření. Drobné odchylky mohou být vysvětleny zjednodušením numerického modelu a nepřesností měření.



Obr. 2 Porovnání vypočtených hodnot teploty vzduchu numerickým modelem (červená) a změřených hodnot v měřicí kabině (modrá)



Obr. 3 Porovnání vypočtených hodnot relativní vlhkosti vzduchu numerickým modelem (červená) a změřených hodnot v měřicí kabině (modrá)

PŘÍKLAD MOŽNÉHO VYUŽITÍ ADAPTIVNÍHO VĚTRÁNÍ: FRESKA DUCHCOV

Verifikovaný numerický model byl využit pro ověření vlivu adaptivního větrání v objektu v zámeckém parku v Duchcově (obr. 4). Zde byla v 1959 vystavena barokní freska, která byla sejmuta z demolovaného kostela. Princip konstrukčního řešení pavilonu bohužel vystavuje fresku značnému kolísání tepelně vlhkostních parametrů vlivem klimatických podmínek, které spolu s přítomností návštěvníků vedly k její postupné degradaci. Jako odpověď na zhoršující se stav fresky, byl omezen přístup návštěvníků produkujících citelné i vázané teplo a došlo k uzavření některých ventilačních otvorů. Nicméně, zcela logicky je zde apel na hledání efektivnějšího opatření, které by umožnilo prostor znovu otevřít návštěvníkům a zároveň bylo únosné z ekonomického hlediska. V tomto případě se nabízí využití adaptivního větrání.



Obr. 4 Pavilón v zámeckém parku v Duchcově s historickou freskou

Současná situace v objektu

Za účelem stanovení počátečních podmínek a popsání tepelně vlhkostních procesů v pavilónu, byl proveden monitoring teploty a relativní vlhkosti v interiéru i exteriéru v období únor 2017 až říjen 2017. V prostoru pavilónu a jeho krovu bylo správcem objektu umístěno 8 dataloggerů pracujících s patnáctiminutovým časovým krokem.

Výsledky monitoringu potvrdily předpoklad značného vlivu venkovního vzduchu, a to zejména v horní části pavilónu, kde jsou umístěny ventilační otvory. V této horní části tepelně vlhkostní parametry dosahovaly výraznějších výkyvů, jejichž trend je shodný s klimatickými podmínkami. Senzor, který je umístěn nejblíže k fresce, vykazuje enormní výkyvy s obvyklými hodnotami 10 až 25 % rozdílu relativní vlhkosti během dne. Takto významná fluktuace má destruktivní dopad na fresku.

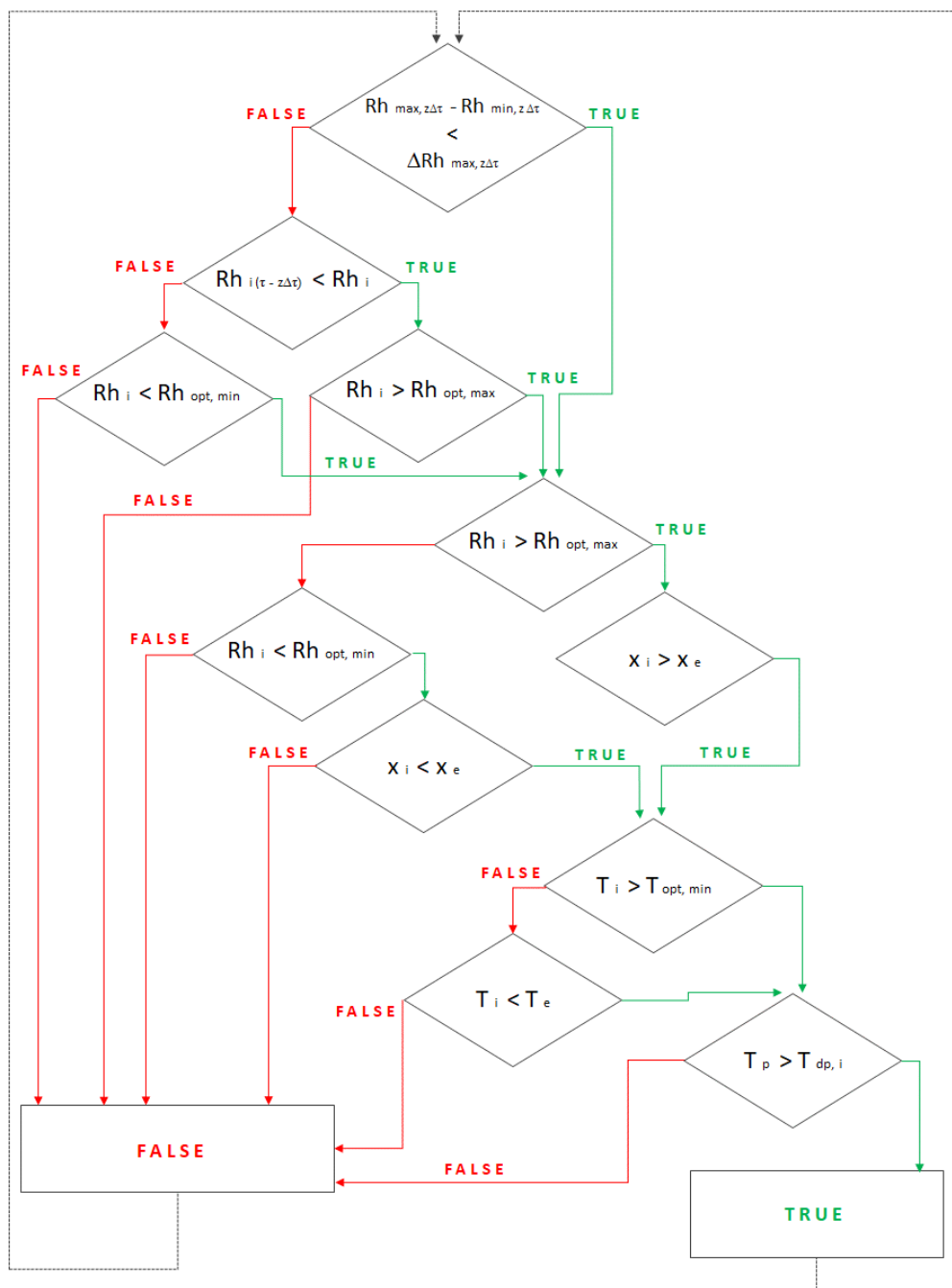
Kalibrace modelu

Model byl kalibrován na základě naměřených dat pro období 10 dní a následně ověřen na náhodně vybraných dalších obdobích. Vypočtené hodnoty ukazují shodný průběh s hodnotami naměřenými s nevýznamnými odchylkami. Tyto odchylky jsou způsobené zejména značným zjednodušením problematiky akumulace vlhkosti do zdiva a nelineárním průběhem přirozeného větrání. Zjištěné odchylky jsou v přijatelném rozsahu a nemají zásadní vliv na ověření vlivu adaptivního větrání. Více o výsledcích kalibrace modelu pro objekt v Duchcově v lit. [6].

Okrajové podmínky

Po ověření funkčnosti numerického modelu, bylo možné přistoupit k aplikaci okrajových podmínek, které jsou znázorněny na vývojovém diagramu obr. 5. Algoritmus je zaměřen na zlepšení stavu vnitřního prostředí ve čtyřech oblastech:

- redukce výkyvů relativní vlhkosti v krátkém časovém horizontu, způsobený přirozeným větráním;
- snížení množství vlhkosti ve vzduchu;
- zamezení přísunu chladného venkovního vzduchu při nízkých venkovních teplotách;
- eliminace kondenzace na povrchu v interiéru.



Obr. 5 Vývojový diagram algoritmu větrání aplikovaného v numerickém modelu

Výsledky

Simulace na numerickém modelu posuzovala tři možné situace:

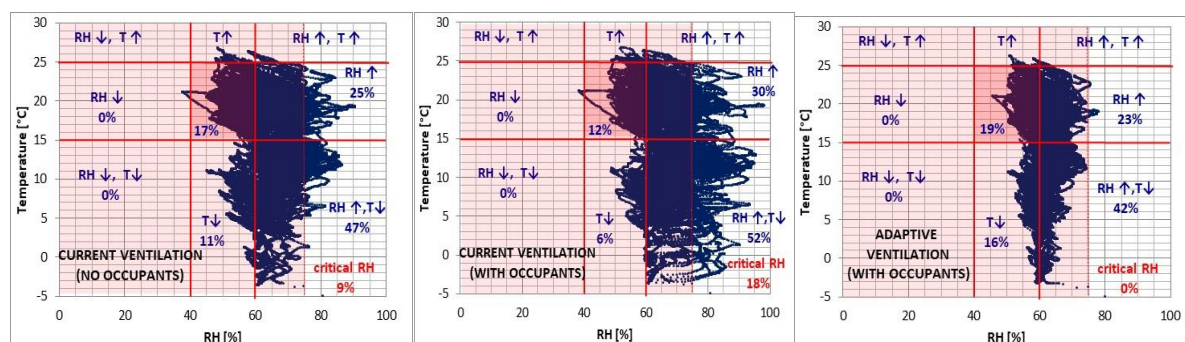
- Současný stav:
 - venkovní vzduch 0,5 /h
 - bez osob
- Současný stav větrání s pohybem osob
 - Venkovní vzduch 0,5 /h
 - Osoby 8 h/den, 20 osob/h
- Adaptivní větrání
 - Venkovní vzduch dle vyhodnocení algoritmu (CLOSE = 0,2 /h, OPEN= 2 /h)

- Osoby 8 h/den, 20 osob/h

Současný stav uvažuje s násobností výměny vzduchu 0,5 /h. Ve skutečnosti samozřejmě tato hodnota není konstantní a mění se v čase v závislosti na rozdílu tlaků a vlivu větru. Tyto výkyvy se považují za nepodstatné pro zhodnocení vlivu adaptivního větrání.

Výsledky numerického modelu hodnotí vnitřní mikroklima na základě klimatických podmínek, naměřených během monitoringu. Z tohoto důvodu výsledky shrnují hodnoty pro období 1. února až 25. října.

Efekt adaptivního větrání byl zhodnocen na základě Performance Index (PI), který je definován jako procento času, během kterého leží sledované parametry (v tomto případě teplota vzduchu a relativní vlhkost) v tolerované zóně [7].



Obr. 6 Vývojový diagram algoritmu větrání aplikovaného v numerickém modelu (vlevo: současná situace větrání bez osob, uprostřed: současná situace větrání s vlivem osob, vpravo: aplikace adaptivního větrání s vlivem osob)

Z grafů (obr. 6) je možné sledovat změnu tepelně vlhkostních parametrů v pavilónu. V současné situaci (první zleva) je infiltrace nastavena na 0,5 /h a v objektu nejsou uvažovány žádní lidé. Široké pole bodů ve směru osy x (relativní vlhkost) naznačuje značné výkyvy relativní vlhkosti v měřeném časovém období. Dalším zásadním ukazatelem je fakt, že v 9 % času leží parametry relativní vlhkosti za hranici kritické hodnoty 75 %.

V případě, že se do současné strategie větrání (konstantní výměna 0,5 /h) přidají návštěvníci produkující vlhkost, stane se situace ještě horší. Z grafu (obr. 6 uprostřed) je možné pozorovat další rozšíření pole výsledků ve směru osy x, což naznačuje další zvýšení fluktuace relativní vlhkosti během měřeného období. Procento času, během kterého se hodnoty relativní vlhkosti pohybují nad kritických 75 %, se ještě více zvýší na 18 %. Numerický model uvažuje, že otevírací doba pro veřejnost je 8 hodin denně a během jedné hodiny přijde 20 osob. Každá z osob produkuje vlhkost 100 g/h.

Naproti tomu, graf s aplikací adaptivního větrání (obr. 6 vpravo), vykazuje značnou redukci fluktuace relativní vlhkosti během sledovaného období. Zásadní pozitivní efekt adaptivního větrání spočívá především ve značné eliminaci parametrů relativní vlhkosti mimo kritickou zónu. Nyní se téměř všechny hodnoty Rh pohybují pod kritickou hranicí 75 %. Situace se strategií adaptivního větrání uvažuje s vlivem osob ve stejné míře, jako v předchozím případě, tj. 8 hodin denně a 20 osob během jedné hodiny.

DISKUZE A ZÁVĚR

Aplikace adaptivního větrání přináší zlepšení situace oproti stávajícímu stavu, a to i v případě, že uvažuje s vlivem osob. Rozdíl v procentu času, kdy je dosaženo tolerované zóny (15 až 25 °C a 40 až 60 % Rh) je zanedbatelný, oproti tomu je zásadní téměř eliminace hodnot

v kritických hodnotách nad 75 % Rh. Výrazného zlepšení bylo dosaženo snížením průměrných výkyvů relativní vlhkosti během 24 hodin.

Prezentovaný zjednodušený model vytvořený v prostředí MS Excel dokazuje, že při zvolení vhodného algoritmu řízení intenzity výměny vzduchu může mít přirozené větrání příznivý efekt na kvalitu vnitřního prostředí. Model byl vytvořen regresní metodou pomocí naměřených dat T a R_h 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 příznivý efekt na snížení množství vlhkosti v případě přítomnosti osob v interiéru.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl podpořen grantem SGS SGS19/099/OHK1/2T/11. Poděkování patří též Národnímu památkovému ústavu za poskytnutí měřených dat.

LITERATURA

- [1] FILIPPI, M. *Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy*. Energy and Buildings 95 (2015), 15 – 22
- [2] ERHARDT D., ANTRETT F., KILIAN R. *Measured and Modeled Influence of the Moisture Buffer Effect in a Historic Stone Church and its Influence on Possible HVAC Measures*. Proceeding of CLIMA 2013 - 11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings 2013
- [3] SINIVÉE V., KURIK L., KALAMEES T. *A simple adaptive ventilation controller for mediaeval church*. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, Trondheim, Norway. Energy Procedia 132, pp. 957 – 962, 2017
- [4] BROSTRÖM T., HAGENTOFL C. E., WESSBERG M. *Humidity Control in Historic Buildings through Adaptive Ventilation: a Case Study*. 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, June 2011
- [5] BALOUNOVÁ M., KABELE K. *Adaptivní větrání ke zlepšení podmínek vnitřního mikroklima: případová studie poutní kaple Svatých schodů*. 22. konference klimatizace a větrání. Praha: Společnost pro techniku a prostředí 2017. ISBN 978-80-02-02739-3
- [6] LYSCZAS M., KABELE K. *Adaptivní větrání jako nástroj ke zlepšení vnitřního prostředí: případová studie historické fresky*. 10. konference IBPSA – CZ. Simulace budov a techniky prostředí. Praha 2018.
- [7] 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 3rd International Conference on Research in Building Physics IBPC 2006, Montreal

NEPODAŘENÁ REKONSTRUKCE VĚTRÁNÍ KUCHYNĚ V ZÁKLADNÍ ŠKOLE

Ing. Miroslav Machalec

Autorizovaný inženýr ČKAIT v oborech TPS, TZS, Energetické auditorství
m.machalec@seznam.cz

ANOTACE

Starostou nejmenovaného města jsem byl požádán o zhodnocení stávajícího stavu nově namontované vzduchotechniky (dále VZT) ve školní kuchyni, která byla krátce po uvedení do provozu a protokolárním zaškolení obsluhy dodavatelem (školník a vedoucí kuchařka) tímto dodavatelem dálkově vypnuta a odstavena mimo provoz.

Důvod: Nezaplacená faktura na základě invektiv ředitele školy na adresu realizační firmy, které byly přeneseny na starostu města.

Odstavení vzduchotechniky bylo 15. září, kdy školní kuchyně měla vařit pro 27 tř. školu + klienty a větralo se otevřenými okny a kuchařky neustále bolela hlava.

ÚVOD

Po prohlídce stávajícího stavu jsem zjistil řadu závad v realizaci VZT, a hlavně odvodu spalin od plynových spotřebičů napojených na komíny a par od konvektomatů. Vše dále uvádím obrazově i s textovým komentářem.

Tyto zjištěné závady ale nebyly předmětem sporu investor – vedení školy – dodavatel.

Tyto vady účastníci sporu díky své neodbornosti nevnímaly, řešily se problémy, které je možné nazvat jako „osobní“, které vedly až k odstavení strojovny VZT.

Co bylo ale zásadní a k tomuto stavu nemuselo dojít, kdyby si úředníci na městském úřadě nechtěli ulehčit práci a nevypsali výběrové řízení na dodavatele VZT včetně prováděcího projektu a položkového rozpočtu. Zadání, které bylo sepsané odborně (bylo jednoznačně zadáno množství odsávaného a přiváděného vzduchu bez ohledu na instalované gastro zařízení v kuchyni) bylo tzv. „šito“ na míru“ jinému dodavateli, který ale díky jedinému kritériu nejnižší ceny tuto soutěž nevyhrál! Po celou dobu realizace ale tato odborná osoba z našeho oboru fungovala jako tzv. „přítel na telefonu“.

Tzv. „přespolní firma“ to měla od začátku těžší než „očekávaná místní“.

Postup při zpracování odborného posudku

1. Prostudování zadání soutěže na dodavatele stavby, zjednodušené projektové dokumentace zpracované dodavatelem stavby, stavebního deníku a zápisů z kontrolních dnů, korespondence ředitele školy a investora s realizační firmou.

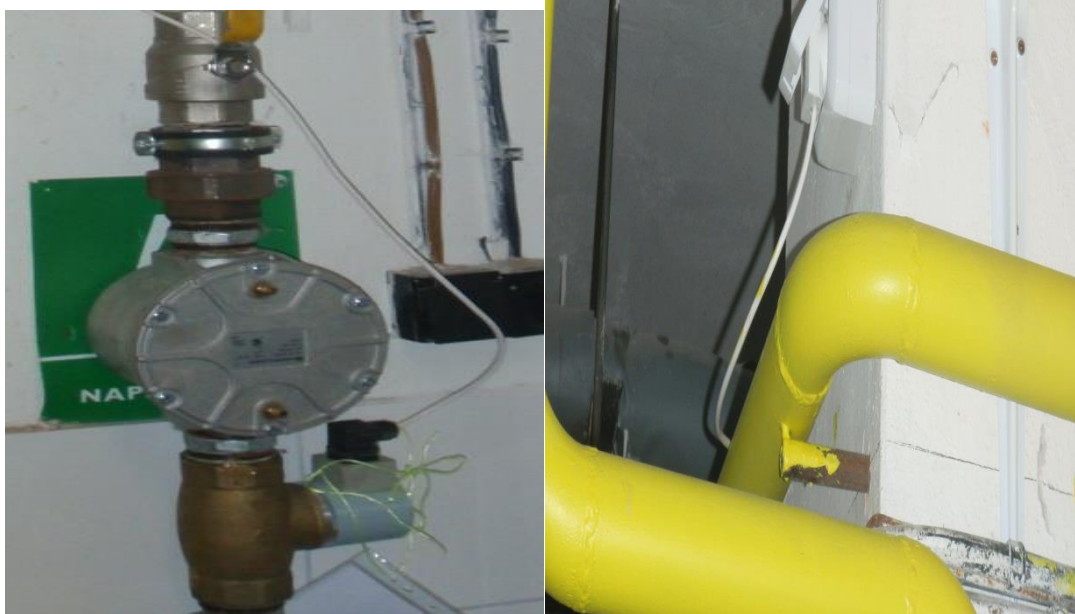
2. V rámci PD nebyla provedena koordinace mezi profesemi a řemesly, které se akce zúčastnily. Tam, kde normálně nastávají střety mezi projektantem a dodavatelem si firma, která dělá projekt i realizaci umí tzv. „poradit.“

3. Odvody spalin od plynových spotřebičů napojených na komín byly provedeny pro ZŠ jiným subjektem, který pro školu provádí revize a opravy podle ČSN 734201 a TPG 70401. V tomto případě vzhledem k absenci koordinace prací v době vzniku dokumentace projektantem, chybějícímu dozoru projektanta a neodbornému stavebnímu dozoru investora došlo k dále popisovanému stavu. Odvody spalin byly realizovány podle toho, jak to po montáži VZT „tzv. vyšlo“, viz. obr. 6, 7. Proto kuchařky bolela hlava, naštěstí se nikdo neotrávil.

4. Zbytečně byla provedena úprava na plynové instalaci s detekcí CO, hlídání koncentrace a automatickým odstavením provozu kuchyně pro jeden plynový sporák – spotřebič typu „A“ s příkonem 16 KW. Viz. obr. 1, 2



Obr. 1 Plynový sporák spotřebič „A“ jediný v kuchyni



Obr. 2 Bezpečnostní plynová armatura pro tento jeden sporák z obr.1 a její nevhodné zapojení přes zásuvku na zdroj el. energie.



Obr. 3 Odtahy vodních par od konvektomatů byly zaústěny do odsávání VZT a filtry před rekuperačním výměníkem byly v cyklech silně smáčeny a opět usušeny. V krátké době byly nepropustné viz. obr. 5



Obr. 4 Odvod vyprodukovaného kondenzátu z potrubí sání vzduchu z kuchyně byl odváděn do kanalizace jen tímto vtokem DN 32 mm zaústěným bez zápachové uzávěrky do splaškové kanalizace. Chybí otvor pro čištění a kontrolu stavu v potrubí.



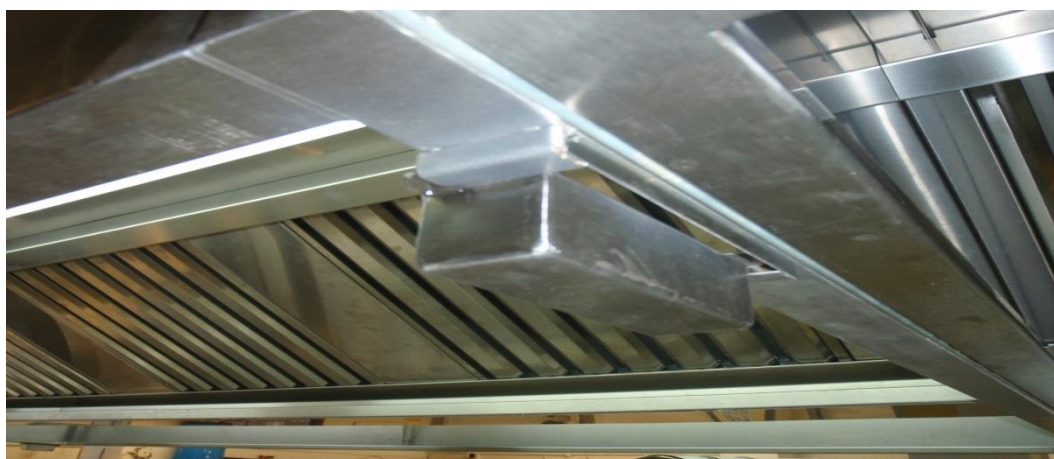
Obr. 5 Filtrační vložky po týdnu provozu, tzv. zabetonované



Obr. 6 *Zaústění kouřovodů od plynových varných kotlů 150 l do komína – detail viz. obr. 7. Protispád kouřovodu, místo výšky min. 400 mm od hrany přerušovače tahu jen cca 150 mm.*



Obr. 7 *Detail k obr. 6*



Obr. 8 *Tato nádobka na sběr kondenzátu v digestoři 4 x 2 m měla stačit včetně zaústění dvou konvektomatů*

Sběrné žlábký na odvod kondenzátu a tuků v digestoři měly tak ostré hrany, že by při prvním čištění došlo k pořezání prstů a pracovnímu úrazu kuchařky. Chyběl kontinuální odvod kondenzátu a tato jímka nebyla osazena na nejnižším místě digestoře!?

ZÁVĚR

Jak se dalo tomuto stavu předejít

1. Samostatné výběrové řízení na projektanta a dodavatele všech dotčených profesí, prováděcí projekt, koordinace dotčených řemesel, položkový rozpočet, autorský dozor projektanta.
2. Odborný stavební dozor investora (TDI). Práce z oboru TZB zásadně na stavbě dozoruji osoby sice autorizované v ČKAIT, ale v oboru pozemní stavitelství, které nemají mnohdy o profesi TZB „ani páru“ natož aby objevily vady v realizovaném díle. V tomto případě měl TDI suplovat i autorský dozor projektanta.

Poznámka: Neznám jediný investiční odbor na městském nebo magistrátním úřadě, který by měl zaměstnaného specialistu TZB autorizovaného v oboru TPS nebo TZS!!!

3. Partikulární zájmy zúčastněných osob – vedení školy a městského úřadu.
4. Dodavatelem VZT nebyla zpracována, (PBR) přesto, že potrubí procházelo CHUC a dělicím požárním úsekem.
5. Vyřešení patového stavu:
Definování závad a přidělení odpovědnosti jednotlivým zúčastněným subjektům, které se na vzniklém stavu podílely.

Postupně se všechny vady po velkých diskuzích odstranily (popisované jsou jen ty nejhorší) a má funkce znalce se změnila v jakéhosi „mediátora“, který dosáhl toho, že se vady odstranily, dotáhly se všechny zkoušky a revize, dílo bylo předáno a faktura konečně zaplacená.

Podrobnosti budou vysvětleny při presentaci této přednášky a osobní diskuzi na toto velmi ožehavé téma.

LITERATURA

- [1] TPG 70401
- [2] ČSN EN 734201
- [3] Projekt, související dokumentace a zápisy z realizované stavby

VAZBA MEZI RYCHLOSTÍ VĚTRU A TEPLOTOU VENKOVNÍHO VZDUCHU

Luděk Mareš

ČVUT, Fakulta strojní

ludek.mares@fs.cvut.cz

ANOTACE

Příspěvek uvádí výsledky statistického vyhodnocení klimatických dat pro Prahu za posledních 15 let. Je vyhodnocena závislost rychlosti větru na teplotě venkovního vzduchu.

ÚVOD

Je známou, odpozorovanou skutečností, že největší rychlost větru bývá při venkovních teplotách mírně nad nulou, kdežto při velmi nízkých či naopak velmi vysokých teplotách je rychlost větru malá. Tuto vazbu je zapotřebí znát pro některé výpočty jako např. infiltrace, či při návrhu samotahových či rotujících větracích hlavic pro větrání meziprostoru dvouplášťové střechy.

Starší článek (L1) se zabýval vazbou rychlost větru – teplota při nízkých teplotách pro účely výpočtu tepelných ztrát infiltrací v budovách, kdy byla vyhodnocena klimatická data z observatoře Praha-Karlov, publikovaná v meteorologickém věstníku. Rozšíření sítě meteostanic a pokrok měřicí a výpočetní techniky v současnosti umožňuje efektivnější a preciznější zkoumání takovéto závislosti.

VÝCHOZÍ KLIMATICKÁ DATA

Pro účely tohoto příspěvku byla použita volně přístupná data z meteorologické stanice České zemědělské univerzity, Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů.

Stanice je umístěna v Praze v západní městské části Suchbátka v areálu kampusu České zemědělské university. Nadmořská výška činí přibližně 280 m, zeměpisná délka 14°22', šířka 50°08'. Průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje kolem 9 °C.

Z dat této stanice publikovaných na internetu (L2) byla použita teplota vzduchu ve výšce 2 m nad terénem, měřená jednou za 15 minut na desetiny °C a střední 15minutová rychlost větru měřená ve výšce 10 m nad terénem na desetiny m/s. Pro účely techniky prostředí jsou tyto střední rychlosti větru vhodnější než maxima rychlosti („nárazy větru“), která jsou naopak zapotřebí pro návrh odolnosti konstrukcí proti dynamickým účinkům větru. U teploty vzduchu, která tolik nekolísá, okamžité hodnoty postačují.

Publikovaná data jsou od dubna 2004, kdy byla stanice uvedena do stálého provozu. Pro příspěvek byly použita data do března 2019, tedy byla vyhodnocena data za posledních 15 let.

METODIKA VYHODNOCENÍ

Během sledovaného 15letého období byla nejnižší naměřená teplota -19,9 °C a nejvyšší naměřená teplota 38,0 °C. Pro toto rozmezí byla přes kontingenční tabulku pro každou desetinu °C stanovena četnost rychlostí větru, a to po desetině m/s. Z těchto četností byly pak spočteny kumulativní četnosti, tedy v dané „desetině °C“ pro každou rychlost četnost této a vyšších rychlostí.

Dále byly vyhodnoceny křivky (resp. lomené čáry) vždy pro určitou hodnotu této kumulativní četnosti, matematicky se jedná vlastně o percentily.

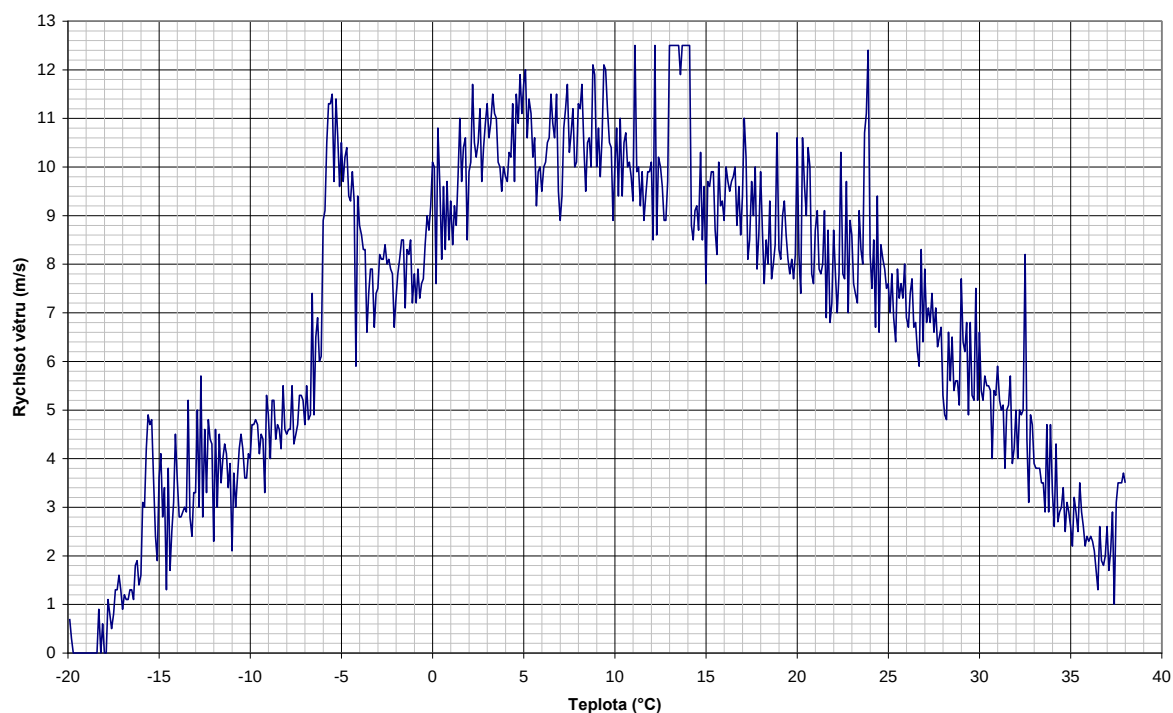
VÝSLEDKY

Za uvedených 15 let bylo ve stanici naměřeno 526 tisíc hodnot, které byly použity i pro vyhodnocení. Pro lepší názornost je vyhodnocení vyjádřeno nikoli v percentilech, ale v četnosti naměřených hodnot, tedy „čtvrthodin za 15 let“.

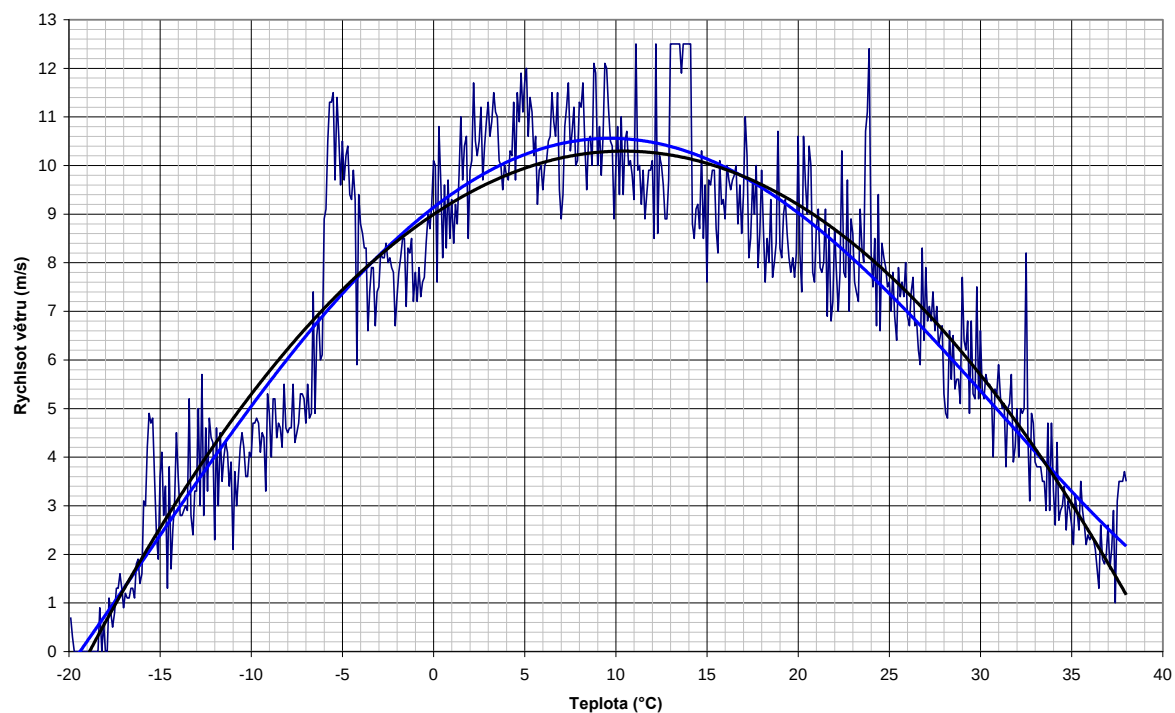
Na obr 1 je zobrazena čára pro hraniční kumulativní četnost (s hodnotou 1). Nad touto čárou se ve sledovaném 15letém období nikdy rychlost větru (čtvrthodinový průměr) nevyskytla. Maximální rychlosti větru jsou kolem teploty venkovního vzduchu okolo +10 °C. Rychlost ale ani v oblasti tohoto maxima nepřekročila 12 m/s. Pro oblast teplot nižších než - 7 °C nebo naopak vyšších než + 33 °C se nevyskytla rychlost větší než 5 m/s.

V levé, stoupající části je průběh závislosti mírně zdeformovaný, což lze přičíst určitému náhodnému „vybočení ze statistiky“, pro delší období by se průběh pravděpodobně vyrovnal. Proložení polynomicke křivky 4 stupně (funkce „spojnice trendu“ v programu Excel) je znázorněno na obr. 2 modrou křivkou. Černou křivkou je znázorněna aproximační křivka 2 stupně a z obrázku je zřejmé, že její odchylka od přesnější křivky vyššího stupně je velmi malá. Pro vyšší percentily (kumulativní četnosti) je odchylka poněkud větší (obr. 3), nicméně s ohledem na výrazné zjednodušení výsledků stále akceptovatelná.

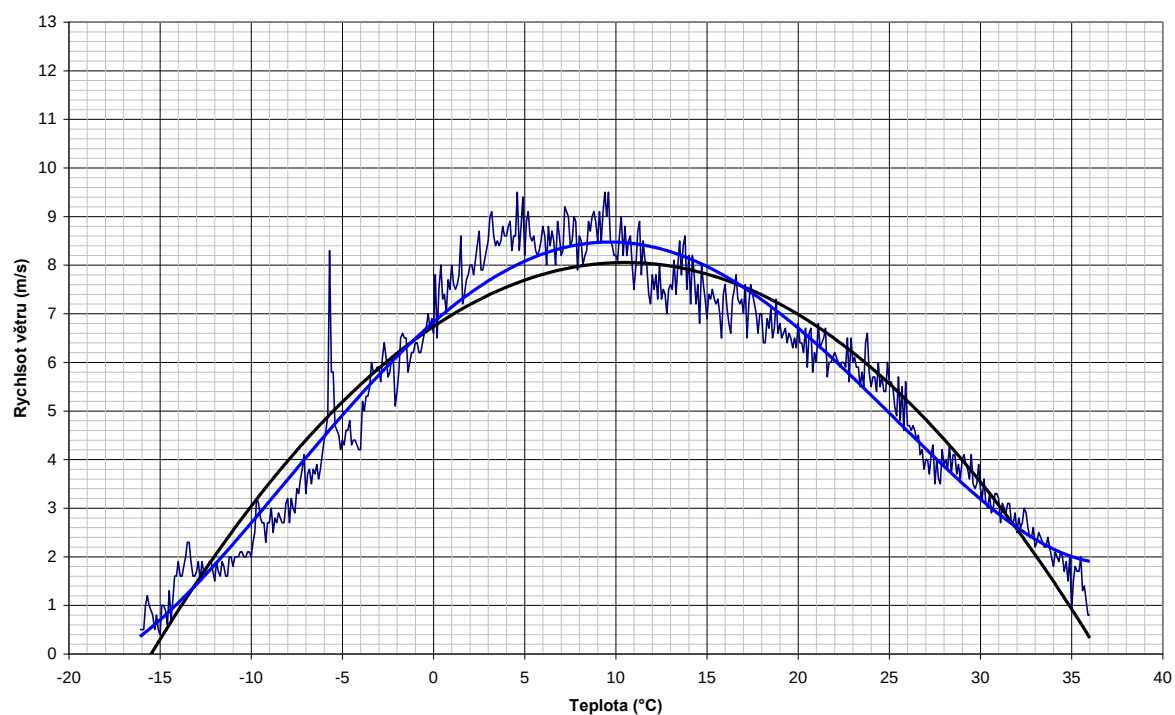
Na obr. 4 jsou aproximační křivky pro další kumulativní četnosti, a to až do hodnoty 100.



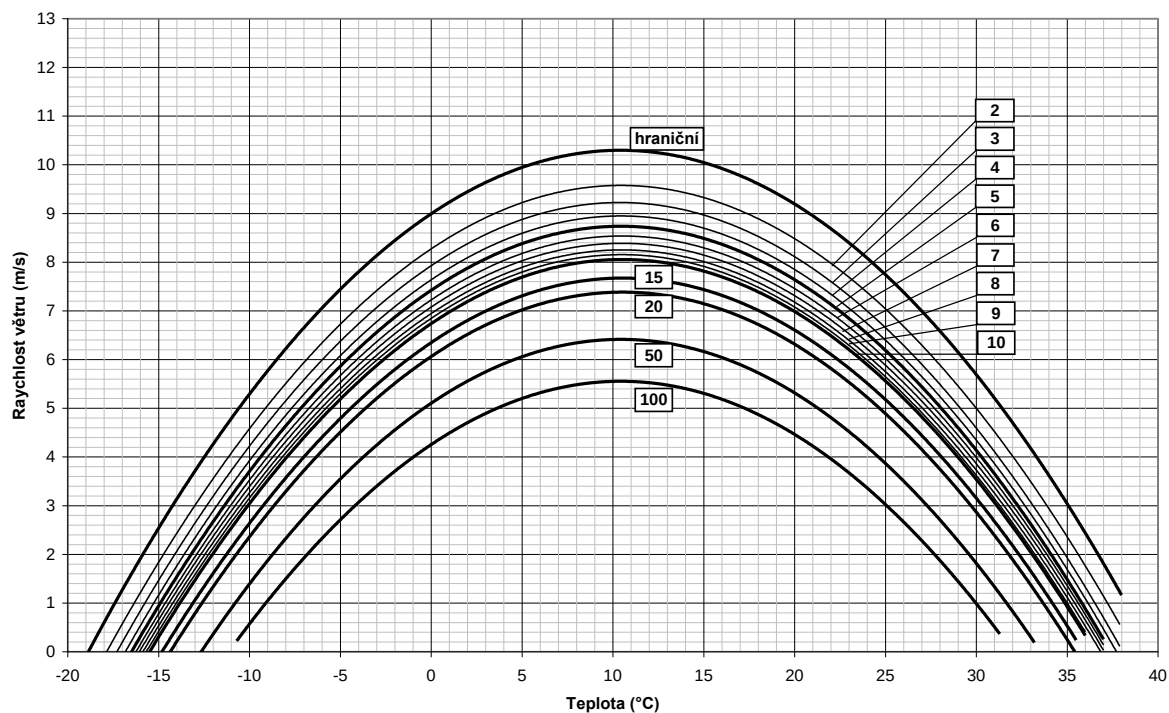
Obr. 1 Mezní závislost – nad ní se rychlost větru ve sledovaném období nikdy nevyskytla.



Obr. 2 Proložení mezní závislosti polynomem druhého a čtvrtého stupně.



Obr. 3 Proložení závislosti pro četnost 10 polynomem druhého a čtvrtého stupně.



Obr. 4 Závislosti pro četnosti 1 až 100.

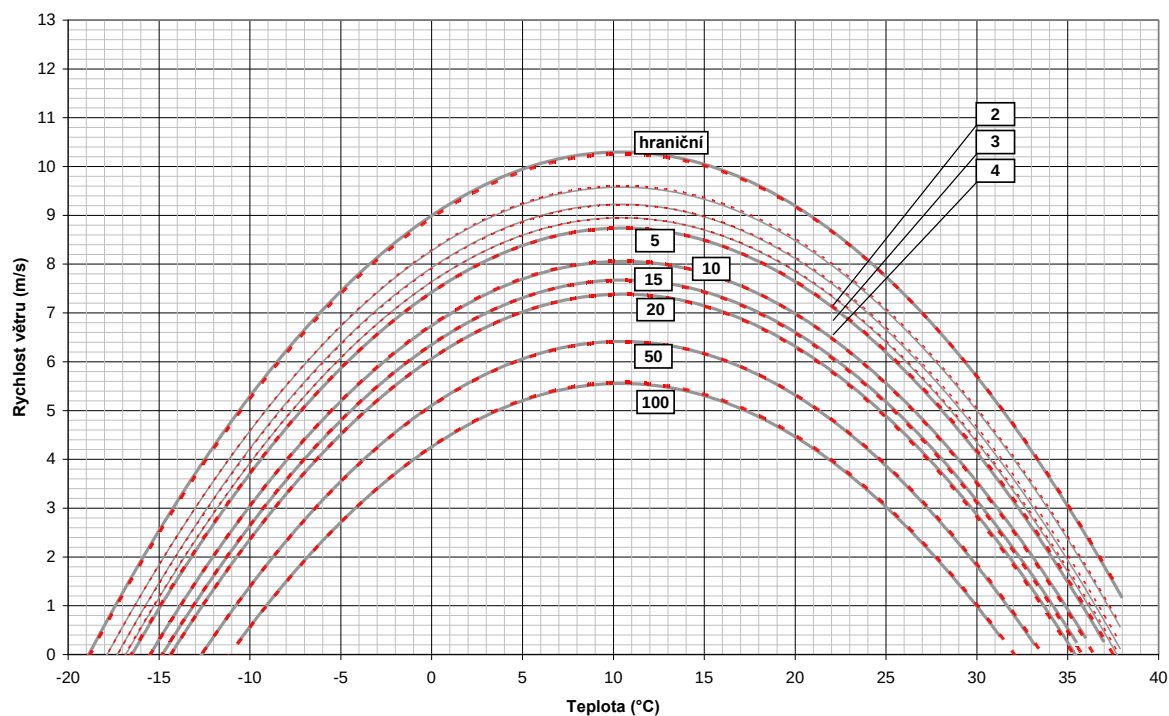
Pro praktické použití byla metodou nejmenších čtverců vyhodnocena analytická závislost rychlosti větru na zvolené teplotě a četnosti ve tvaru:

$$w = 8,95 + 0,251 \cdot t - 0,011997 \cdot t^2 - 0,003666 \cdot \check{c} + \ln(\check{c})$$

w	rychlost větru, kdy výskyt této a vyšší rychlosti odpovídá četnosti $\check{c}$	[m/s]
t	teplota venkovního vzduchu	[°C]
$\check{c}$	kumulativní četnost – v dané „desetině °C“ – čtvrt hodiny za 15 let	[–]

Vztah platí pro Prahu, pro $\check{c}$ v rozsahu 1 až 150 a pro t u kterých nevychází výsledek w záporný. Pozn.: $\check{c}$ ve vzorci platí vždy pro desetiny °C (K), pokud je v zadání úlohy kumulativní četnost $\check{c}_{1K}$ pro interval 1 °C (tedy 1 K), tzn. $t \pm 0,5$ °C, do vzorce je nutné dosazovat $\check{c} = \check{c}_{1K}/10$.

Vzorec dobře vystihuje výše vyhodnocené závislosti – viz obr. 5. Statisticky vyhodnocené křivky jsou zde znázorněny šedými křivkami, hodnoty vypočítané z aproximačního vzorce červenými tečkovanými křivkami.



Obr. 5 Porovnání vyhodnocených závislostí se závislostmi vypočtenými z aproximačního vzorce.

ZÁVĚR

Statistické vyhodnocení klimatických dat potvrdilo, že výskyt vyšších rychlostí větru je pouze v oblasti „středních“ teplot venkovního vzduchu, v teplotních extrémech se nevyskytují ani relativně nízké rychlosti větru. Maximální rychlosti vzduchu jsou kolem teploty venkovního vzduchu + 10 °C.

Závislost kumulativních četností rychlosti větru na teplotě venkovního vzduchu bylo možné velmi dobře aproximovat analytickým vztahem.

LITERATURA

- [1] MAREŠ, L.: *Souvislost mezi rychlostí větru a teplotou venkovního vzduchu*. Zdravotní technika a vzduchotechnika č. 1, ročník 19 (1976)
- [2] Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Dostupné z: <<http://meteostanice.agrobiologie.cz>>.

OHŘEV VENKOVNÍHO ČERSTVÉHO VZDUCHU TEPEM Z VÝROBY CHLADU V KCP PRAHA

Ing. Karel Matějčík

Inženýrská činnost

<http://www.ingmatejcek.cz/>, karel@ingmatejcek.cz

ANOTACE

Pro projekt EPC v Kongresovém centru Praha (KCP) jsem zpracoval návrhy úprav technologií a algoritmy řízení MaR (tzv. Opatření) a firma ENESA a.s. zrealizovala systémy, které zajišťují mimo jiné „transport energií mezi jednotlivými systémy“ TZB v KCP. Výsledkem je, že např. od venkovní teploty $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do venkovní teploty $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (teplejší nasávaný vzduch nepotřebujeme), se potřebné teplo pro ohřev vzduchu získává z převážné části z výroby chladu s relativně malou čerpací prací.

ÚVOD

Objekt Kongresového centra Praha – projekt EPC realizovaný firmou ENESA a. s.

Výstavba neofunkcionalistické budovy Kongresového centra Praha, tehdejšího Paláce kultury, byla zahájena v roce 1976. Budova byla dokončena roku 1981 jako jedno z největších a nejmodernějších společenských center Evropy. Technologické systémy projektoval jako generální projektant VPÚ Praha. V letech 1998–2000 prošla budova rozsáhlou rekonstrukcí a byl dostavěn nový víceúčelový objekt s rozsáhlými hotelovými a kancelářskými kapacitami, dnešní Business Centre Vyšehrad a hotel Holiday Inn Prague Congress Centre, který disponuje celkem 254 pokoji.



Obr. 1 Kongresové centrum PRAHA

Nová opatření realizovaná a zafinancovaná firmou ENESA a.s. v rámci projektu EPC (Energy Performance Contracting, zaručené úspory – investice se hradí z následných úspor), v Kongresovém centru Praha, byla velmi rozsáhlá. Hlavní inovace se týkaly výroby a distribuce tepla, výroby a distribuce chladu, systémů zpětného získávání tepla, osvětlení a jako jeden z hlavních opatření byl realizován úplně nový systém měření a regulace od firmy Honeywell – dodávka firmy Sofim spol. s r.o., s úplně novými a pro KCP mnou vytvořenými algoritmy řízení – v podstatě „šité na míru“ novým technologiím v KCP. Navíc byl nad celý systém nasazen nadřazený optimalizační software „OPERETA“ od společnosti ENESA a.s. pro řízení a optimalizaci provozu KCP. Tento systém v sobě integruje všechna technická i netechnická data (například rezervační systémy atd.) a tyto v podobě řídicího algoritmu nadřazeně předkládá systému MaR k řízení. V rámci provozování objektu KCP jsou archivovány veškerá data a provozní stavy k následné pravidelné podrobné analýze a přijetí optimalizačních scénářů. V systémech byly odstraněny veškeré zkraty a propoje funkčního charakteru „termo-hydraulický rozdělovač“ a nahrazeny systémem MaR – řízení otáček oběžných kol čerpadel. Obecně zrušení termo-hydraulických rozdělovačů a jejich nahrazení systémem MaR nám přináší na projektech EPC jednotky až desítky procent úspor a bezproblémové zajištění

teplotních parametrů při následném provozu jak pro vlastní stroje ve výrobě, tak pro technologii na straně spotřeby. Volba a realizace „promyšlených“ systémů až do úplných detailů je zásadní a výsledky se dostaví okamžitě. V tomto příspěvku uvedu pouze ve zkratce úpravy systémů přímé výroby tepla a podrobněji se budu věnovat „výrobě tepla přečerpáváním energií“ z výroby chladu. Tzn.:

- Výroba tepla pro ohřev čerstvého „studeného“ (v zimním období) venkovního vzduchu „přímou“ výrobou chladu – modifikovaný Free-Cooling
- Výroba tepla pro ohřev čerstvého venkovního vzduchu a teplé vody „odpadním teplem“ vznikajícím při výrobě chladu – využití tepla z chlazení kondenzátorů a provozu kogenerační jednotky.

SYSTÉMY PŘÍMÉ VÝROBY A DISTRIBUCE TEPLA PŘED A PO REALIZACÍ PROJEKTU EPC

PŮVODNÍ INSTALACE:

Zdroj tepla o výkonu 32 000 kW, výstupní teplota na rozdělovači 110 °C celorok.

- V centrální kotelně byly před zahájením rekonstrukce firmou ENESA a.s. nainstalovány a provozovány 4 dvoupalivové (plyn/LTO) kotle o výkonu 4 x 8 = 32 000 kW. Systém regulace byl na požadovanou teplotu 110 °C celorok, s konstantním průtokem otopné vody jednotlivých kotlů.

NOVÁ INSTALACE:

Celkové rekonstrukci tepelného hospodářství objektu KCP předcházely technicko ekonomické výpočty, které prokázaly značné předimenzování zdrojové části a zároveň naprosto nevhodný způsob regulace. Na základě těchto propočtů bylo přistoupeno k novému řešení. Byly osazeny nové zdroje tepla jen o celkovém výkonu 12 361 kW, s výstupní teplotou na rozdělovači 55 až 90 °C ekvitermy, s realizací dalšího sběrače pro „Studené zpátečky“, kompletní rekonstrukce ohřevu teplé vody, s možností předeřevu a akumulace tepla z kogenerační jednotky. Hlavní technologie v kotelně:

- Kogenerační jednotka s výkonem na straně generátoru 500 kW a s výkonem na straně tepla 653 kW. Teplotní spád otopné vody od 50/70 °C do 60/100 °C
- Sestava kondenzačních kotlů Hoval o celkovém výkonu 2 x 1854 kW (při 80/60 °C) = 3 708 kW.
- Dva dvoupalivové (plyn/ELTO) kotle Bosch, každý o výkonu 4 000 kW, teplotní spád od 50/70 °C do 60/100 °C
- Koncentrické odkouření od kotlů Hoval s nasáváním předeřátého spalovacího vzduchu spaliny. Kotle Hoval jsou tak spotřebiči v kategorii „C“.
- Rozdělovač otopné vody a dva sběrače pro zpátečky. „Teplý sběrač“, „Studený sběrač“. Díky vytvoření sběrače pro „regulovaný sběr“ zpáteček s chladnější vodou, je energetická účinnost kotlů Hoval cca 105% celorok(vzhledem k výhřevnosti paliva).
- Zrušení a vyřezání všech neekonomických propojů a zkratů, úprava teplotních smyček pro nové teplotní spády, doplnění systémů o možnost řízení otáček oběžných kol čerpadel s osazením potřebných snímačů tlaků, průtoků a teplot. Nový systém MaR s novými algoritmy.



Ve strojově chlazení byly před zahájením rekonstrukce nainstalovány a provozovány 4 chladicí turbokompresory od firmy Trane.:

- Dva chladicí stroje TRANE CVGD 056 z roku 1992“ - Vodou chlazené chladicí turbokompresory. Chladicí výkon 2 095 kW. Elektrický příkon 475 kW. Teplotní spád chlazené vody 12/6 °C. Teplotní spád chladicí vody 28/34 °C.
- Dva chladicí stroje TRANE ECVGE 71 z roku 2000. - Vodou chlazené chladicí turbokompresory. Výkon 2 500 kW. Elektrický příkon 458 kW. Teplotní spád chlazené vody 12/6 °C. Teplotní spád chladicí vody 28/34 °C

Na jedné ze střech byly před zahájením rekonstrukce firmou ENESA a.s. nainstalovány a provozovány 4 chladicí věže. Provoz nepřetržitý, celoroční, 24 hod, denně:

- Dvě chladicí věže Evapco – LSTE-8P618 – CHV

- Dvě chladicí věže Baltimor CHV 3

Veškeré „odpadní“ teplo z chladících strojů bylo před rekonstrukcí EPC „mařeno“ v chladících věžích.

SYSTÉM ZZT – ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

V prostoru druhého podzemního podlaží jsou dvě hlavní velké strojovny vzduchotechniky s VZT jednotkami pro úpravu a přívod vzduchu do objektu. Každá strojovna má svou vlastní centrální úpravu vzduchu s filtrací, systémem ZZT, předehřevem a ventilátory, s řízenými otáčkami oběžného kola dle požadovaného tlaku v prostoru rozvodného kanálu vzduchu.

- Strojovna VS1 se strojovnou centrální úpravy vzduchu C1 pro 122 000 až 900 000 m³/hod
- Strojovna VS2 se strojovnou centrální úpravy vzduchu C2 pro 100 000 až 700 000 m³/hod

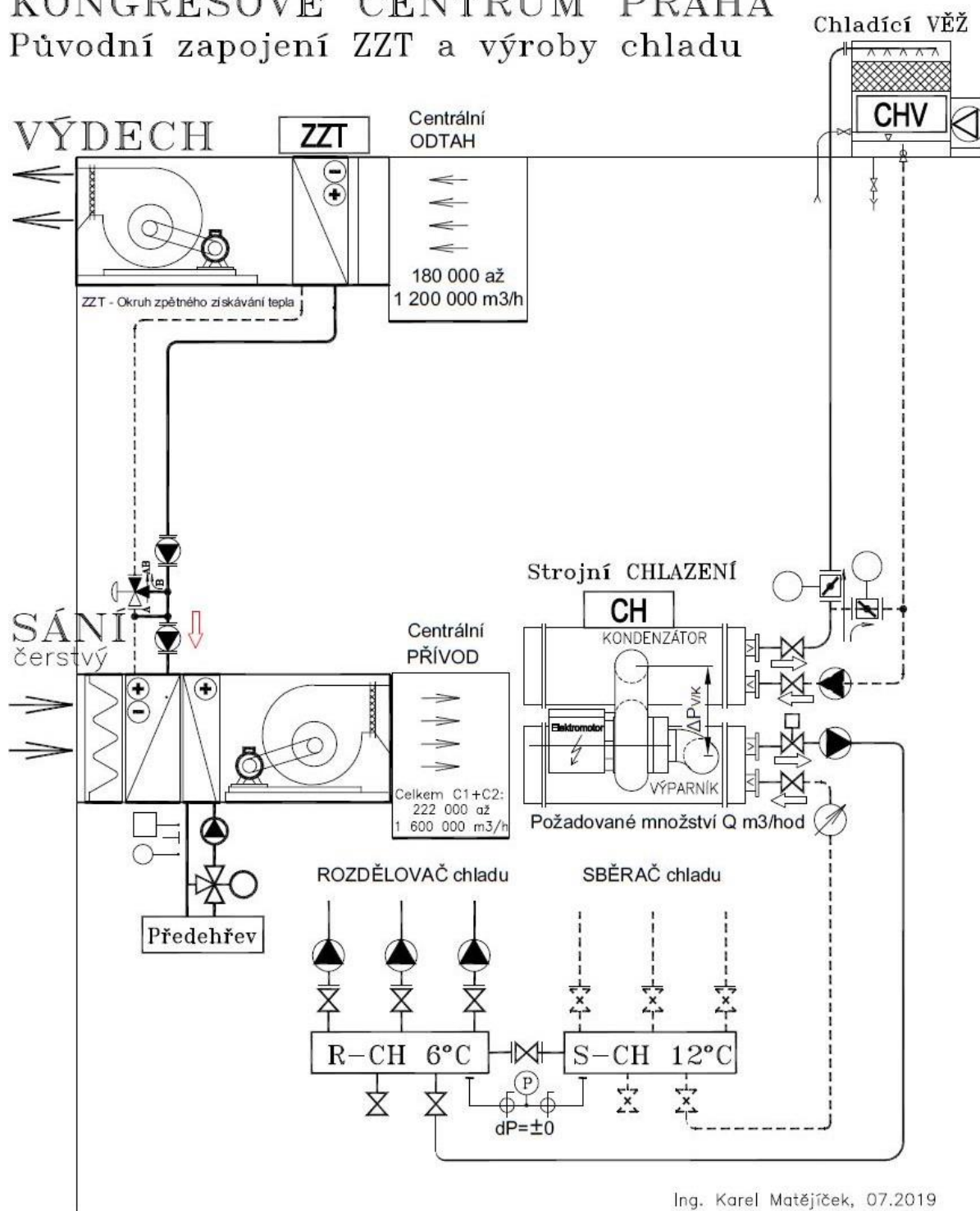
Pro systémy ZZT strojoven C1 a C2 bylo společné glykolové hospodářství taktéž v prostoru druhého podzemního podlaží a v prostoru mezistropu pod střechou 6 nadzemního podlaží strojovna centrálního odtahu VS9 se strojovnou C9 centrálního odtahu s výměníky ZZT a ventilátory, s řízenými otáčkami oběžného kola dle požadovaného podtlaku v prostoru sběrného kanálu vydechovaného vzduchu.

- Strojovna VS9 se strojovnou centrálního odtahu vzduchu C9 pro 180 000 až 1 200 000 m³/hod

Jak systémy výroby chladu, tak systémy ZZT pracovaly každý samostatně bez jakékoliv provazby jak technologicky, tak v řídicím systému.

KONGRESOVÉ CENTRUM PRAHA

Původní zapojení ZZT a výroby chladu



Obr. 3 KCP – Původní zapojení ZZT a výroby chladu

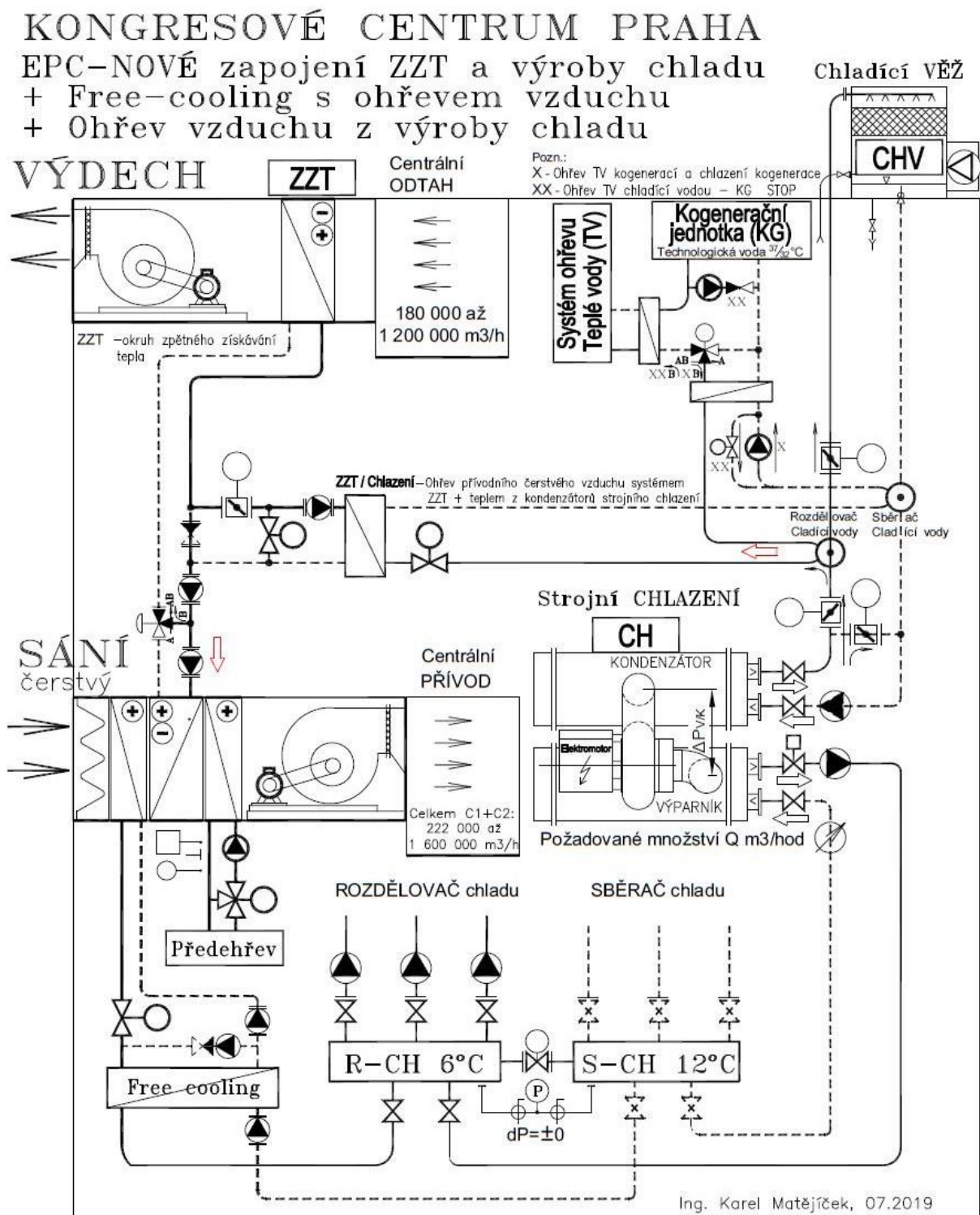
Stav systémů Chlazení a ZZT v KCP po realizaci projektu EPC – ENESA

Provoz chladicích strojů v KCP byl celoroční, 24 hodin denně. Tím nám vznikla možnost část tepla potřebného pro objekt v přechodném a zimním období získat z výroby chladu (v našem případě odpadní teplo). Jako hlavní se použily dvě základní metody/systémy:

- Přímá výroba chladu ohřevem nasávaného vzduchu – v podstatě Free Cooling

- Využití tepla v chladicí vodě kondenzátorů chladicích strojů

To znamenalo propojit systémy výroby chladu se systémy spotřeby tepla

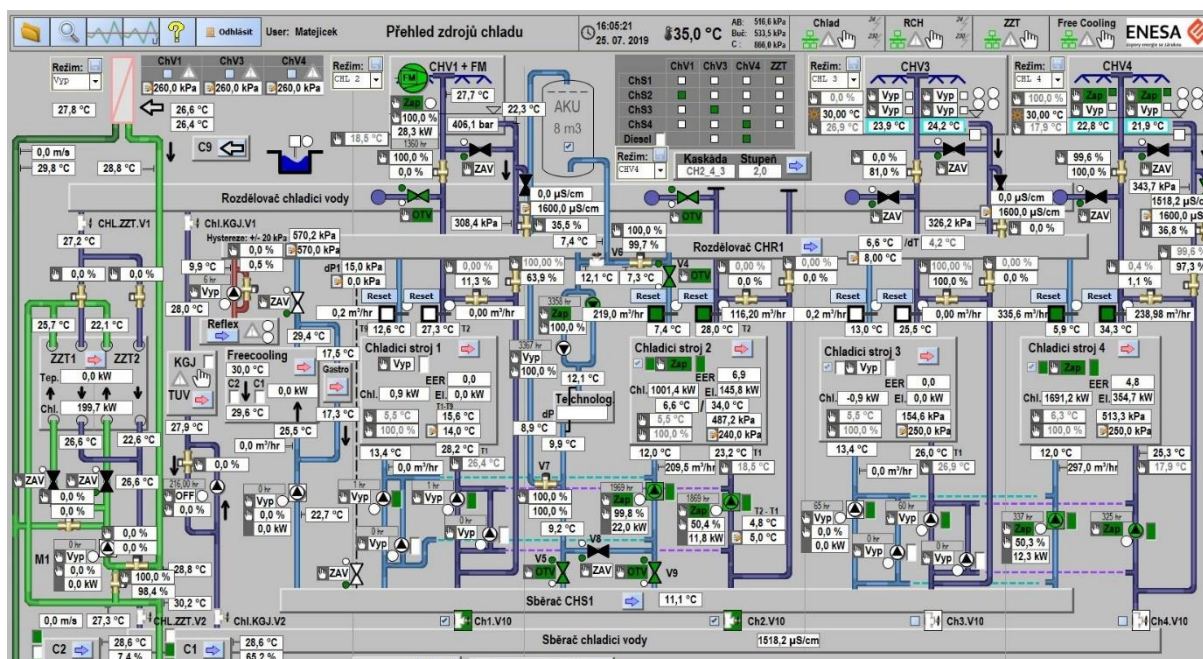


Obr. 4 KCP – Nové zapojení ZZT a výroby chladu

SYSTÉM CHLAZENÍ

Ve strojově chlazení byla provedena v rámci rekonstrukce následující opatření EPC:

- Jeden chladicí stroj TRANE CVGD 056 z roku 1992“ o chladicí výkonu 2 095 kW byl nahrazen novým chladicím strojem: Vodou chlazená chladicí jednotka TRANE se šroubovým kompresorem a frekvenčním měničem, řady R™ RTHD. Chladicí výkon 931 kW, elektrický příkon 155 kW, teplotní spád chlazené vody 12/6 °C, teplotní spád chladicí vody 28/34 °C.
- Zrealizován nový rozdělovač a sběrač chladicí vody, do kterého byly připojeny všechny kondenzátory chladicích strojů a všechny chladicí věže. Do tohoto rozdělovače a sběrače chladicí vody byly připojeny nově zrealizované rozvody od systémů:
 - ZTZ (zpětného získávání tepla)
 - Ohřevu teplé vody
 - Technologické chlazení KG (kogenerační jednotka)



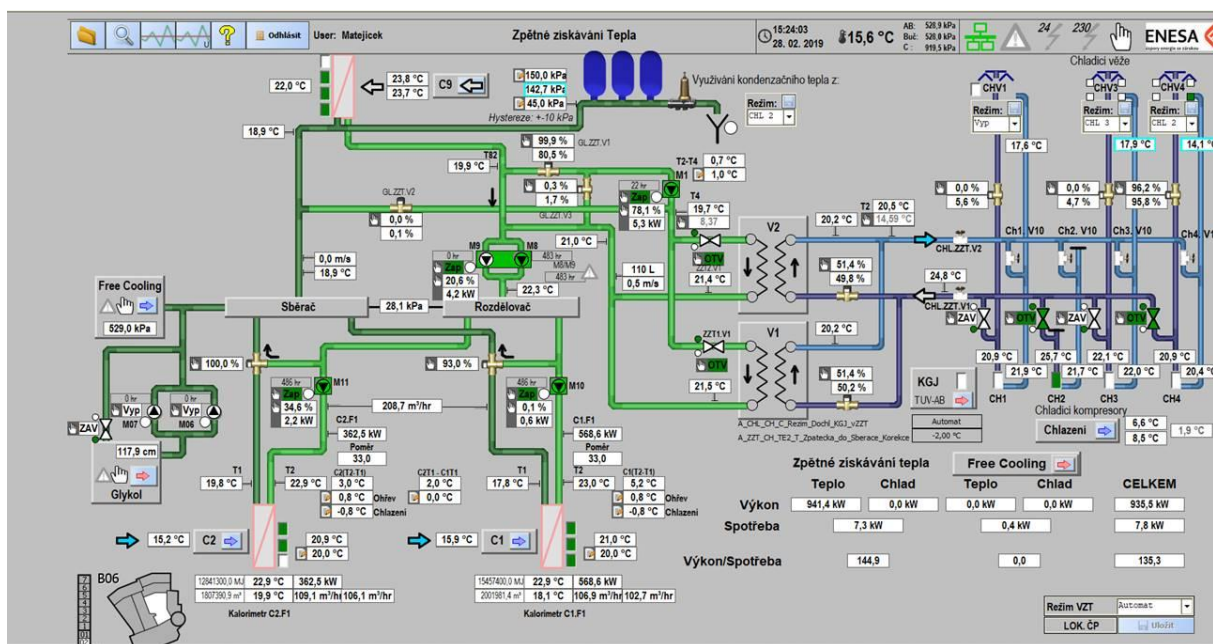
Obr. 5 KCP – Strojovna chlazení – nová realizace



SYSTÉM ZZT – ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA S OHŘEVEM VZDUCHU Z VÝROBY CHLADU

V systému ZZT se hlavní opatření projektu EPC realizovala v prostoru druhého podzemního podlaží, kde jsou dvě hlavní velké strojovny pro centrální úpravu přívodního vzduchu C1 a C2 – byla demontována filtrační stěna s kapsovými filtry a všechny výměníky systému ZZT a předeřevu a v prostoru strojovny glykolové hospodářství – zrušení všech neekonomických propojů a zkratů, repase systémů a vytvoření prostoru pro dodatečné výměníky Voda/Glykol. Dále v prostoru mezistropu pod střešou 6 nadzemního podlaží, kde je strojovna centrálního odvodu C9, se realizovala kompletní repase systémů ZZT. V rámci opatření bylo realizováno“

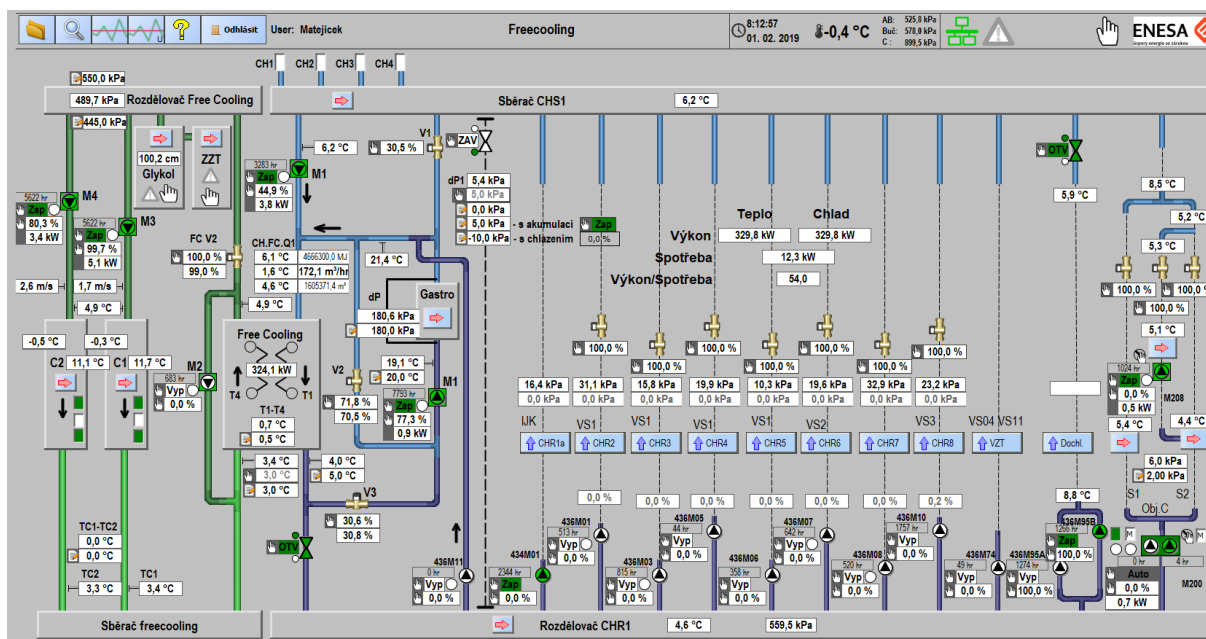
- Filtrační stěna s vložkovými filtry náplň 2“ sklo – podstatně menší tlaková ztráta oproti „kapsám“, nedochází k „vyklepávání“ zachyceného prachu – ochrana výměníkových sestav.
- Dodávka a montáž nových sestav výměníků pro Předeřev, ZZT a Free Cooling
- Nová předávací stanice Voda/Glykol pro přenos tepla ze systémů chlazení do systémů ZZT pro předeřev vzduchu
- Dodatečné rozvody a osazení všech stávajících čerpadel frekvenčními měniči a příslušnými systémy řízení



Obr. 6 KCP – Systém ZZT + ohřev vzduchu z výroby chladu

SYSTÉM FREE COOLING – VÝROBA CHLADU OHŘEVEM ČERSTVÉHO VZDUCHU

V prostorách strojoven pro centrální úpravu přívodního vzduchu C1 a C2 byly sestavám výměníků ZZT předřazeny výměníky Free Coolingu.

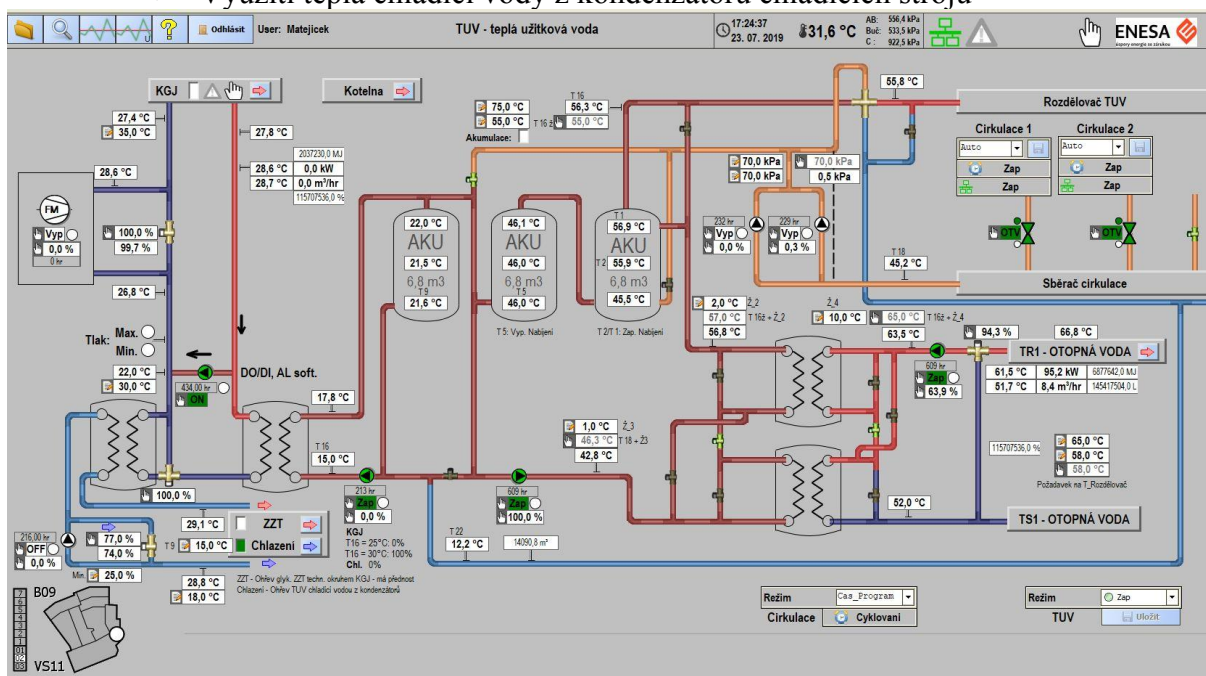


Obr. 8 KCP – Systém Free Cooling – ohřev vzduchu výrobou chladu

SYSTÉM OHŘEVU TEPLÉ VODY – OHŘEV TEPLÉ VODY ZE SYSTÉMU KOGENERACE A Z VÝROBY CHLADU

V systému ohřevu teplé vody byl vyčleněn jeden zásobník o objemu 6,8m³ pro její přehřev nízkopotencionální energií. Využívá se teplo:

- Z chlazení technologického okruhu kogenerační jednotky. Výkon 45kW, spád 37 na 32 °C
- Využití tepla chladicí vody z kondenzátorů chladicích strojů



Obr. 9 KCP – Strojovna ohřevu teplé vody – přehřev vody z výroby chladu

ZÁVĚR

Celý projekt EPC je velice úspěšný. Z předpokládané úspory cca 23 mil Kč/rok se generuje úspora cca 32 mil. Kč/rok. A z energetického hlediska výsledek je, že do venkovní teploty cca +20 °C se cca 40% spotřebované tepelné energie v KCP nevyrábí spalováním paliva (převážně s účinností cca 105 %), ale přečerpáváním energií. Do venkovní teploty cca +5 °C, se vyrábí chlad s efektivitou v poměru cca 1 ku 50. Konkrétně: Např., když jsem v únoru 2019 nabízel tento příspěvek na konferenci, tak se aktuálně vyrábělo cca 330 kW chladu tím, že se „vyrábělo 330 kW tepla. Toto teplo se celé spotřebovávalo na ohřev čerstvého vzduchu s celkovou čerpací prací cca 12,3 kW. To znamená, že z každé vložené 1 kW čerpací práce jsem získával cca 54 kW energie. Podobné to je v provozu celou zimu. V přechodném období – nad +3 °C během dne, to je ještě lepší – je v chodu chlazení. Máme k dispozici teplejší vodu z kondenzátorů a faktor získávání energie je běžně, že z 1 kW je 100 až 120 kW tepla využívaného pro ohřev vzduchu. Toto vše je zajišťováno pomocí několika navzájem propojených systémů a využívání synergických efektů. Tyto stavy jsou zachyceny v obrázcích vizualizací příspěvku.

Na závěr bych chtěl poděkovat za tvůrčí přístup a trpělivost během realizace pracovníkům Kongresového centra Praha, ENESA a. s. a Sofim s. r. o.

KLIMATIZACE BUDOV - 70. LÉTA MINULÉHO STOLETÍ - OBCHODNÍ DŮM DRUŽBA V PRAZE

Ing. Jiří Petlach st.

Petlach TZB s. r. o.
jiri.petlach@petlach.cz

ÚVOD

Většina budov v našem okolí bývá většinou časem vnímána jako běžná a neměnná součást našeho života a města, ve kterém žijeme. Přesto si však většina těchto staveb, které jsou pro náhodného návštěvníka určitou pozoruhodností, naši apatii nezaslouží. Vždyť v době svého vzniku většinou tyto budovy představovaly odraz života dané doby, stav architektury, úroveň architektů, projektantů a stavebníků, kteří je navrhli a realizovali.

A toto se také týká obchodního domu na rohu Václavského náměstí a Jindřišské ulice, kolem kterého obyvatel Prahy bez povšimnutí projde, aniž by u něho vzbudil jakékoli emoce. Tento dům, přes veškeré historické změny, je dodnes znám jako obchodní dům DRUŽBA.

VZNIK OBCHODNÍHO DOMU DRUŽBA

Obchodní dům DRUŽBA je v současné době zajímavý z hlediska zařízení techniky prostředí tím, že od svého vzniku až do dneška patří jedinému vlastníkovi a tím je původní Svaz výrobních družstev, respektive jeho nástupnická organizace Svaz českých a moravských výrobních družstev, a dosud v něm nebyla provedena kompletní rekonstrukce. Provedené rekonstrukce byly provedeny pouze místní, vyvolané určitou změnou dispozic instalačních, či obchodních ploch.

Rozhodnutí o výstavbě nového obchodního administrativního domu DRUŽBA padlo v lednu 1966 a v roce následujícím byla vypsána architektonická soutěž, kterou vyhrál Krajský projektový ústav v Praze. Účelem novostavby byla především výstavba nejen obchodního domu, který by reprezentoval výrobky výrobních družstev, ale který by poskytoval reprezentativní administrativní zázemí Svazu výrobních družstev.

Stavební a architektonické řešení objektu ovlivnily následující skutečnosti:

- Na ploše nynějšího obchodního domu stálo celkem 6 domů, které při výstavbě byly zbourány. Nutno přiznat, že 3 domy do Václavského náměstí měly být zbourány a nahrazeny novou zástavbou již v roce 1923, kdy státní regulační komise shledala, že domy neodpovídají svou výškou okolní zástavbě. Také domy v Jindřišské ulici neodpovídaly požadavkům na prosvětlení a provětrání budov a zasahovaly do uliční čáry Jindřišské ulice.
- Výstavba podchodu pod Václavským náměstím, která byla také záminkou pro zbourání původních domů. Umožňovala však dvojúrovňový vstup do nového objektu.

Obchodní dům DRUŽBA byl postaven v letech 1971 až 1975, i když původní plány hovořily o dokončení budovy v roce 1971. Stavba byla realizována:

- stavební část a ocelová konstrukce Vojenskými stavbami n. p.
- technologická část n. p. Průmstav Praha
- interiéry byly dodány výrobním družstvem Napako

Právě z hlediska technického vybavení je důležitá firma Průmstav, která v socialistické budovatelské struktuře byla vázána přes PZO (podnik zahraničního obchodu) na rakouskou zprostředkovatelskou firmu CLIMAKO, která zase byla vázána na koncern YORK. Proto původní zařízení techniky prostředí bylo vybaveno zařízeními od tohoto koncernu.

PROSTOROVÉ A DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ OBJEKTU

Konstrukci objektu tvoří ocelový skelet 8x9 m, doplněný monolitickými stěnami a komunikačními jádry. Budova má dvě podzemní a 7 plnohodnotných nadzemních podlaží. 8. nadzemní podlaží tvoří jakousi nedokončenou věžičku na nároží Václavského náměstí a Jindřišské ulice.

Dominantní funkci plnily 4 prodejní podlaží o celkové ploše 3480 m². Plnohodnotné prodejní plochy byly však pouze v 1. suterénu a ve 2. a 3. nadzemním podlaží. V 1. NP byly původní plochy velmi redukovány na vstup do ostatních obchodních prodejních ploch, protože se zde nacházel průchod mezi Václavským náměstím a Jindřišskou ulicí se značným množstvím výloh a Snack-barem. Dále se zde z Václavského náměstí nacházel přímý vchod do restauračních ploch v 7. a 8. nadzemním podlaží.

Jak bylo výše uvedeno, v 7. a 8. nadzemním podlaží se nacházejí restaurační prostory. Sedmému nadzemnímu podlaží dominuje vstupní hala s malým barem. Restaurace obdélníkového půdorysu pro 100 osob je orientována jako roh do Václavského náměstí a Jindřišské ulice. Přes restauraci bylo možno projít do 2 salonků pro 20 osob. Dále se zde nacházelo veškeré kuchyňské a sociální zázemí. Z restaurace se procházelo i do kavárenských prostor v 8. NP, kde bylo vytvořeno dvouúrovňové sezení pro hosty s kapacitou 100 až 130 osob. Ve dne sloužil prostor jako vyhlídková kavárna, večer jako taneční vinárna.

Administrativní prostory ve 4. až 6. nadzemním podlaží měly půdorys písmene L. Po obvodě při fasádě byly umístěny především kanceláře, ve středním traktu byla umístěna komunikační vertikální jádra, sanitární zázemí a blok zasedacích místností. V 6. nadzemním podlaží se nacházel malý bufet.

Ve 2. suterénu se nacházel blok hlavních technických místností (strojovny VZT, chlazení, rozvodů tepla a chladu, kotelna) a kryt civilní ochrany, který byl využíván především jako kuželník.

Specifikum této budovy oproti stávajícím administrativním a obchodním centrům spočívá v současnosti v následujícím:

- a) Celý objekt z hlediska požárně bezpečnostního hlediska tvoří jeden požární úsek, z čehož plyne následující:
 - nejsou nuceně větrány únikové cesty,
 - není proveden odvod tepla a kouře z obchodních ploch,
 - nejsou instalovány sprinklery,
 - po objektu jsou v rozvodech vzduchu sice instalovány požární klapky, ale bez jednotné koncepce a pouze na hranicích nově rekonstruovaných ploch.
- b) Nejsou řešeny přeslechy hluku mezi jednotlivými prostory a místnostmi.

ZDROJE A ROZVODY TEPLA

Původní tepelné bilance objektu byly stanoveny dle původní české technické normy ČSN 060210 pro oblastní teplotu $t_e = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

a) Vytápění objektu mimo kancelářských prostor (restaurace, kavárna, obchodní dům, kadeřnictví apod.)	535 kW
b) Ohřev teplé vody pro celý objekt	233 kW
c) Potřeba tepla pro ohřev větracího vzduchu	2560 kW
d) Potřeba tepla pro vytápění administrativní části pomocí indukčních jednotek	235 kW
- Celkem instalovaný topný výkon na koncových prvcích	3560 kW
- Uvažovaná současnost všech koncových prvků tepla	$i = 0,7$
- Minimální výpočtový výkon topného zdroje	2490 kW

Při stavbě byla potřeba tepla kryta 3 kotly na kapalné palivo (nádrže byly umístěny pod dvorem v objektu) o jednotkovém topném výkonu 1,163 MW. Pro každý kotel bylo ve stavební části vytvořeno samostatné komínové těleso. Kotelna byla umístěna ve 2. suterénu vedle strojovny vzduchotechniky.

Kotelna byla vybavena veškerými bezpečnostními prvky, které byly s ohledem na velikost kotelny na ni požadovány tehdejšími právními nařízeními a technickými normami.

Řízení chodu kotlů bylo provedeno pomocí pneumatické automatické regulace.

Teplovodní soustava byla rozdělena na 5 samostatných okruhů:

- Základní kotlový okruh, tj. okruh topné vody od kotlů do rozdělovačů tepla. Výstupní teplota vody v okruhu byla nastavena na konstantní hodnotu 90 °C.
- Okruh ústředního vytápění, který byl navržen na teplotní spád 90/70 °C v zimním výpočtovém extrému. Teplota výstupní vody je regulována ekvitermně dle venkovní teploty vzduchu.
- Okruh pro klimatizační a větrací jednotky (dveřní clony) pracující s teplotním spádem 90/70 °C v zimním výpočtovém extrému. Výstupní teplota vzduchu byla řízena ekvitermně dle teploty venkovního vzduchu.
- Okruh topné vody pro indukční jednotky, pracující s teplotním spádem 55/46 °C v zimním výpočtovém extrému a s možností ekvitermní regulace teploty výstupní vody v závislosti na venkovní teplotě.
- Okruh ohřevu teplé vody pracující s konstantním teplotním spádem 90/70 °C.

Jako koncové prvky vytápění byly použity jednak článkové litinové radiátory, jednak konvektory, které byly především umístěny v restauraci a kavárně, obchodních plochách, Snack-baru a holičství a kadeřnictví. V těchto prostorách se předpokládalo, že část topného výkonu bude pokryta systémem větrání a klimatizace.

V nočních hodinách nebo v době, kdy nebylo v provozu vzduchotechnické zařízení, měly být místnosti temperovány na teplota 10 až 15 °C pouze pomocí stacionárního vytápění.

V místnostech, kde byla umístěna litinová tělesa, jsou tepelné ztráty eliminovány zcela těmito litinovými tělesy.

Rozvodné potrubí z kotelny bylo vedeno k instalačním šachtám, ze kterých je vedeno rozvodné potrubí k jednotlivým koncovým prvkům vytápění. Potrubí je vedeno v ocelové konstrukci stropů. Celý systém vytápění je navržen tak, aby bylo možno celý systém vypustit a napustit (vybavení vypouštěcími a odvzdušňovacími ventily).

Každá vzduchotechnická jednotka byla napojena samostatně z podružného rozdělovače a sběrače tepla, které byly umístěny v příslušné strojovně vzduchotechniky. Každý ohřívač měl

vlastní cirkulační čerpadlo a na zpátečním vedení u sběračů trojcestný připouštěcí ventil, který reguloval výkon příslušného ohřívače

Vzhledem k tomuto způsobu napojení ohřívačů vzduchotechnických jednotek a faktu, že s ohledem na tehdejší možnosti regulace otopných ploch (absence termostatických ventilů) byly veškeré okruhy vytápění rozděleny dle orientace fasád ke světovým stranám, jsou rozvody tepla ve strojovně vytápění i strojovně vzduchotechniky velmi komplikované a prostorově náročné.

Indukční jednotky pro kanceláře administrativní části byly použity od firmy MARTO s konstantním množstvím vody pro vytápění a chlazení. Regulace výkonu vytápění a chlazení byla provedena na straně vzduchu klapkami ovládané pneumatickým pohonem řízeným od prostorového termostatu v místnosti.

Rozvodné potrubí pro indukční jednotky bylo vedeno instalačními šachtami do stropu nad 2. patrem, kde bylo v konstrukci stropu rozvedeno k jednotlivým fasádám. Rozvod topné vody v každém podlaží byl proveden v parapetu za indukčními jednotkami systémem TICHELMANN.

V 90. letech minulého století byl zdroj tepla na kapalná paliva nahrazen plynovou kotelnou, která je nyní vybavena:

- 3 kotli pro zimní provoz od výrobce ČKD Dukla
s topným výkonem min. 1040 kW/ks
- 1 kotlem pro letní provoz (příprava teplé vody)
od výrobce ČKD Dukla s topným výkonem min. 260 kW/ks

Všechny plynové kotle jsou napojeny na stávající komíny s tím, že je provedena v rámci automatické regulace blokace tak, aby do tělesa komínu, kam je vyveden vývod spalin jak z „velkého“ kotle pro zimní provoz, tak i z „malého kotle“ pro letní provoz, byl umožněn provoz pouze jednomu z nich.

ZDROJ A ROZVODY CHLADU

Původním zdrojem chladu byla turbokompresorová jednotka v provedení kapalina-kapalina, která byla umístěna ve strojovně vzduchotechniky v suterénu. Na kondenzátorové straně byla jednotka napojena na dva okruhy s otevřenými chladicími věžemi na střeše objektu, na výparníkové straně byla jednotka napojena na uzavřený okruh s upravenou vodou.

Jednotka pracovala s chladivem R22 a její chladicí výkon byl 1163 kW. Zdroj chladu byl určen pouze pro chlazení vzduchu a prostor v letním období, a pak na zimu se venkovní část okruhu chladicích věží vypouštěla.

Z chladicí jednotky byla upravená chladicí voda s teplotním spádem 6/12 °C dopravována do centrálního rozdělovače a sběrače chladu, ze kterého byly provedeny následující okruhy chladu:

- Vzduchotechnická jednotka pro obchodní plochy v 1. patře
- Vzduchotechnická jednotka pro obchodní plochy v přízemí a v 1. suterénu
- Vzduchotechnická jednotka pro kanceláře
- Vzduchotechnická jednotka pro kuželník
- Vzduchotechnická jednotka Snack-baru
- Přívod chladu do strojovny vzduchotechniky v 7. patře
- Přívod chladu do podružného rozdělovače pro indukční jednotky
- Přívod chladu pro vzduchotechnické jednotky ve 4. až 6. NP

U větví pro vzduchotechnické jednotky, které byly umístěny ve strojovně vzduchotechniky ve 2. suterénu byly na rozdělovačích umístěny trojcestné regulační ventily.

Na podružném rozdělovači chladu pro indukční jednotky je provedeno rozdělení potřebného chladu pro chlazení kanceláří na 3 samostatné zóny s rozdělením dle jednotlivých zón vůči světovým stranám se samostatnou regulací teploty přiváděné chlazení vody do indukční jednotky:

- Zóna východ
- Zóna západ
- Zóna jih

Hlavní čerpadla jsou umístěna na vratné chladicí vodě do chladicích jednotek. Součástí okruhu byly i expanzní nádoby a zabezpečovací a doplňovací zařízení.

V roce 1993 byla provedena výměna zdroje chladu, a to jak po fyzické stránce, tak i výkonové a koncepční. Původní chladicí zařízení bylo nahrazeno systémem s kompaktními blokovými chladicími jednotkami se vzduchem chlazenými kondenzátory a uzavřeným systémem rozvodu chladicí vody.

Jako zdroje chladu bylo použito 3 ks chladicích jednotek SEVESO o jednotkovém chladicím výkonu 285 kW/jednotku a s chladičem R22. Jednotky byly umístěny na střeše objektu na úrovni 7. patra a nebyly vybaveny protimrazovou ochranou. Proto je bylo nutné na zimu vypouštět. Chladicí jednotky pracovaly na výparníkové straně s teplotním spádem chlazené vody 6/12 °C.

S ohledem na změnu koncepce byly vyměněny společně se zdrojem chladu i oběhová čerpadla (zdvojené čerpadlo na straně vratné vody do chladicích strojů).

Rozvody chladu vč. tepelných izolací zůstaly beze změny. Snížení chladicího výkonu na zdroj chladu mělo fatální dopad, a proto bylo nutno některé systémy doplnit přímým chlazením (např. pro gastronomické plochy).

V roce 2013 byly chladicí jednotky SEVESO vyměněny za jednotky YORK o chladicím výkonu 350 kW/jednotka, a tudíž se chladicí výkon systému navýšil na 1050 kW. Nicméně proběhla výměna chladicích jednotek nikoli systému, takže se neodstranily nedostatky předchozího systému:

- Nutnost vypouštění systému na zimu a zanášením produktů koroze jednotlivých komponentů systému
- Absence chladu v zimním období
- Problémová regulace při malých odběrech chladu, protože čerpadla chladicí vody nemají proměnný průtok kapaliny

VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE OBCHODNÍCH PLOCH

Centrální klimatizační systém pro obchodní plochy, který zajišťoval teplotní a vlhkostní parametry v obchodních plochách je tvořen centrálními klimatizačními jednotkami, které se nacházejí ve strojovně vzduchotechniky ve 2. suterénu, v menší míře pak teplovodními konvektory pod prosklenými fasádami do Václavského náměstí a do Jindřišské ulice.

Dále původně hlavní vstupy do obchodních ploch na úrovni přízemí a 1. suterénu byly vybaveny velmi účinnými teplovzdušnými clonami. Celkem pro 4 obchodní podlaží byly

navrženy 3 centrální klimatizační jednotky, s tím, že 1 jednotka sloužila pro 1. suterén a přízemí.

Čerstvý venkovní vzduch si jednotky nasávaly z centrálního zděného kanálu, který měl nasávací žaluzie umístěny na úrovni 8. nadzemního podlaží. Za nasávacími žaluziemi jsou dodatečně umístěny kapsové filtry a teplovodní ohřívače, které dle původní projektové dokumentace měli vzduch vedený centrálním nasávacím kanálem ohřívat na 10 °C. V současné době vlivem čidel protimrazové ochrany je vzduch ohříván na teplotu +15 °C. Ve strojovně si všechny 3 klimatizační jednotky přivádějí vzduch do obchodních ploch nasávající vzduch z podlahového zděného kanálu. Složení klimatizačních jednotek pro obchodní plochy je identické tak, aby byly zajišťovány následující funkce:

- Směšování vzduchu bude v poměru 50:50 čerstvý a cirkulační vzduch, nebo pouze cirkulace vzduchu (nastavení cirkulační klapky lze manuálně nastavit)
- Adiabatické vlhčení vzduchu pomocí vodní pračky vzduchu
- Dohřev vzduchu teplovodním ohřívačem
- Chlazení vzduchu vodním chladičem
- Dopravu vzduchu pomocí nízkotlakého ventilátoru

Odvod vzduchu z obchodních ploch byl zajišťován nízkotlakými ventilátory. Odváděný vzduch z obchodních ploch byl vyfukován do zděného kanálu ve strojovně vzduchotechniky, odkud byl:

- Buď přes podhled nad rozvodnami, akubateriemi a trafostanicí veden do vertikálního kanálu, který byl zakončen na úrovni dvora objektu výfukovými žaluziemi.
- Nebo byl nasáván ventilátorovými komorami s teplovodními ohřívači, které sloužily jako tepelné clony vstupu do obchodních ploch v 1. suterénu a přízemí.

Vzduch ze strojovny vzduchotechniky do obchodních ploch byl přiváděn 2 centrálními šachtami. V těchto šachtách byly umístěny do potrubí tlumiče hluku. Přívod vzduchu byl do obchodních ploch přiváděn standardními výústkami či difusorovými anemostaty, které jsou v současné době nahrazeny vířivými anemostaty.

Původní množství přiváděného a odváděného vzduchu vzduchotechnickými jednotkami

- | | |
|----------------------------|--|
| • 2.patro (zařízení č. 8) | +30.000 m ³ h ⁻¹ /-27.000 m ³ h ⁻¹ |
| • 1.patro (zařízení č. 9) | +30.000 m ³ h ⁻¹ /-27.000 m ³ h ⁻¹ |
| • Přízemí (zařízení č.10) | +8.000 m ³ h ⁻¹ /-6.000 m ³ h ⁻¹ |
| • 1.sutrén (zařízení č.10) | +22.000 m ³ h ⁻¹ /-14.000 m ³ h ⁻¹ |

Po rekonstrukci obchodních ploch v roce 2000, kdy v přízemí byl zrušen průchod obchodním dome a zároveň i zrušen Snack-bar, bylo původní zařízení pro Snack-bar (zařízení č. 11) přiřazeno k větracím systémům pro obchodní plochy (+10.200 m³h⁻¹/-10.050 m³h⁻¹). Zařízení pro Snack-bar bylo původně umístěno v suterénu pod dvorní částí objektu.

VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE ADMINISTRATIVNÍ ČÁSTI VE 4. AŽ 6. NADZEMNÍM PODLAŽÍ

Jak vyplývá z předchozích odstavců, dominantní klimatizační systém pro administrativní plochy, především pak pro kanceláře na jižní, východní a západní fasádě objektu, byla vysokotlaká klimatizace s parapetními indukčními jednotkami.

Kanceláře na severní fasádě byly větrány přirozeně pomocí otevíratelných oken a vytápěny pomocí litinových otopných těles. Zasedací místnosti uprostřed traktu bez vazby na fasádu měly vlastní nízkotlaký větrací systém, který dotčené místnosti měl v letním období i chladit.

Do kanceláří s indukčními jednotkami primární vzduch přiváděla klimatizační jednotka umístěná ve strojovně vzduchotechniky ve 2. suterénu. Tato jednotka si nasávala vzduch z centrálního nasávacího kanálu, který využívaly i vzduchotechnické jednotky pro klimatizaci obchodních ploch.

Složení centrální klimatizační jednotky bylo obdobné jako pro klimatizaci obchodních ploch s tím rozdílem, že dopravu vzduchu zajišťoval vysokotlaký axiální ventilátor ve zděné komoře, před kterým a za ním byly umístěny tlumiče hluku. Systém pracoval pouze s čerstvým vzduchem. Celkové množství dopravovaného vzduchu bylo $22.000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Výfuk vzduchu z centrální jednotky byl rozdělen do 3 zón (bez další teplotní úpravy) dle jednotlivých fasád. Indukční jednotky, do kterých byl primární vzduch dopravován byly umístěny v parapetu, kde zabíraly společně s rozvody vzduchu, topné a chladicí vody poměrně velkou kancelářskou plochu (cca 700 mm od fasády objektu). Přeslechy mezi kancelářskými plochami nebyly řešeny.

Vzduch z kanceláří byl přes mřížky vyfukován do chodeb, odtud byl odsáván:

- buď přímo odsávacím systémem č. 16 do strojovny vzduchotechniky ve 2. suterénu,
- nebo přes sociální zázemí, které bylo podtlakově větráno pomocí ventilátorů na střeše objektu.

Pro větrání středního traktu administrativních ploch se zasedacími místnostmi (v 6. nadzemním podlaží prostor bufetu) byly na každém podlaží na fasádě situovány malé strojovny klimatizace se vzduchotechnickým zařízením, které zajišťovalo následující funkce:

- Cirkulaci vzduchu
- Předehřev a dohřev
- Základní filtraci
- Adiabatické vlhčení vzduchu
- Chlazení
- Dopravu vzduchu v konstantním množství

Celkové množství dopravovaného vzduchu bylo cca $6000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}/\text{podlaží}$.

Jednotky si nasávaly vzduch z dvorní fasády v příslušném podlaží, výfuk vzduchu byl proveden nad střechem objektu. Teplotní úprava mikroklimatu s ohledem na konstantní množství centrálně upraveného vzduchu nebyla možná.

GASTRONOMICKÉ PLOCHY v 7. A 8. NADZEMNÍM PODLAŽÍ

Gastronomické plochy v 7. a 8. nadzemním podlaží byly větrány a klimatizovány centrálními klimatizačními systémy, které byly umístěny v samostatné strojovně vzduchotechniky na úrovni 7. NP. V této strojovně se nacházely samostatné systémy pro:

- kavárnu v 8. nadzemním podlaží,
- restauraci, halu a salonky v 7. nadzemním podlaží,
- kuchyni v 7. nadzemním podlaží.

Složení centrálních vzduchotechnických jednotek bylo obdobné jako pro klimatizaci obchodních plov s tím, že pro kuchyni nebylo použito zvlhčování vzduchu ani cirkulace.

Pro nasávání čerstvého vzduchu byl použit opět centrální nasávací kanál s filtrací a přehřevem vzduchu. Toto nasávání vzduchu však bylo stavebně a technologicky odděleno od nasávání vzduchu pro strojovnu vzduchotechniky ve 2. suterénu. Výfuk vzduchu byl proveden nad střechu objektu.

Distribuce vzduchu v jednotlivých prostorách byla podřízena interiérovému řešení či technologickému vybavení prostor.

Celkové dopravované množství vzduchu jednotlivými systémy bylo následující:

- | | |
|--------------|---------------------------------------|
| • kavárna | 15.000 m ³ h ⁻¹ |
| • restaurace | 14.000 m ³ h ⁻¹ |
| • kuchyně | 20.000 m ³ h ⁻¹ |

Tato množství vzduchu při rekonstrukci gastroprovozu v roce 1996 byla mírně upravena s ohledem na technologické vybavení kuchyně (odsávací zákryty) a nové interiérové řešení obytných prostor.

TECHNICKÉ A ÚČELOVÉ PLOCHY NA ÚROVNI 2. SUTERÉNU

Ve 2. suterénu byly instalovány 2 základní systémy větrání:

- Větrání krytu civilní ochrany, jehož základem byla větrací jednotka nasávající si vzduch z centrálního nasávacího kanálu pro tuto strojovnu vzduchotechniky. Složení jednotky je obdobné jako pro obchodní plochy, avšak s absencí vlhčení a chlazení vzduchu. Výfuk vzduchu byl proveden do centrálního výfukového kanálu pro obchodní plochy. Celkové množství dopravovaného vzduchu bylo 6.000 m³h⁻¹.
- Odsávací systém z administrativních plov (původní zařízení č. 16), který odváděný vzduch (16.000 m³h⁻¹) rozváděl do všech technických místností ve 2. suterénu a dále do skladů i šaten personálu. Takto byla větrána původně i kotelna na LTO. Z takto větraných místností byl vzduch odváděn samostatnými odsávacími systémy na dvorní fasádu objektu.

Poznámka:

S přechodem kotelny na plynná paliva byl původní systém větrání navázaný na větrání kanceláří nahrazen samostatným systémem přívodu a odvodu vzduchu. Stejně tak i větrání velínu ve 2. suterénu.

AUTOMATICKÁ REGULACE

Původní systém měření a regulace systémů techniky prostředí byl založen na pneumatické regulaci.

Stlačený vzduch byl vyráběn ve 2 kompresorech, které byly umístěny ve strojovně rozvodů tepla ve 2.suterénu. Každý kompresor je dimenzován na 100 % potřeby stlačeného vzduchu a jsou do rozvodu vzduchu řazeny paralelně. Stlačený vzduch je dopravován do 2 vzdušníků s přefukem, které jsou v rozvodu řazeny sériově. Mezi oběma vzdušníky je umístěna sušička vzduchu.

Ze vzdušníku č. 2 byl stlačený vzduch dopravován do rozdělovače stlačeného vzduchu, ze kterého byly dále provedeny samostatné větve pro jednotlivé základní funkční celky.

S postupem rekonstrukcí různých částí systému vytápění, chlazení a větrání byl původní pneumatický systém nahrazován elektrickým od výrobce SAUTER. Vzhledem k tomu, že rekonstrukce zařízení neprobíhala v jednom okamžiku, jsou výrobky firmy SAUTER v objektu z několika generací tohoto řídicího systému (řada 2400, řada 3600).

Pneumatický systém v současné době je použit pro:

- a) ovládání uzavíracích klapek centrálních vzduchotechnických jednotek,
- b) ovládání výkonu indukčních jednotek.

AKTUÁLNÍ STAV POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB S VÝHLEDEM DO BUDOUCNOSTI

Jiří Pokorný¹, Lenka Brumarová¹, Horst Gondek², Marianna Tomášková³, Vladimír Vlček⁴

¹Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství,
Lumírova 13, 700 30 Ostrava – Výškovice

²Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních
strojů a konstruování, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba

³Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra bezpečnosti a kvality
produkcie, Letná 9, 042 00 Košice

⁴Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje, Výškovická 40, 700 30 Ostrava – Zábřeh
jiri.pokorny@vsb.cz, lenka.brumarova@vsb.cz, horst.gondek@vsb.cz,
marianna.tomaskova@tuke.sk, vladimir.vlcek@hzsmsk.cz

ANOTACE

Požadavky na požární bezpečnost stavebních objektů zaznamenávají v posledních letech významné změny. Důvodem jsou mimořádné události, ke kterým v posledních letech došlo a vznik nových technologií a s tím související výskyt nových rizik. Rovněž nová technická norma z roku 2016 ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení, vyvolala potřebu změn většiny norem tzv. kodexu norem požární bezpečnosti staveb. V některých případech se jedná o změny významné, v některých případech spíše drobné. Podstatné změny se týkají požárního větrání.

Systém posuzování požární bezpečnosti staveb v České republice je již delší dobu předmětem diskuze, která souvisí s otázkou jeho směřování do budoucnosti s výhledem na dobu řádově desítek let. Příprava systémové změny je v průběhu let 2018 až 2020 řešena v rámci Bezpečnostního výzkumu České republiky. Mezi stěžejní oblasti řešení patří komparace systému hodnocení požární bezpečnosti staveb v České republice a ve vybraných zahraničních zemích s návrhem dalšího vývoje, vyhledání a úprava konfliktních oblastí ve stávajícím systému hodnocení požární bezpečnosti staveb v České republice a úprava rozsahu staveb, které mají v budoucnosti podléhat výkonu státního požárního dozoru. Česká republika hledá nové směry pro posuzování požární bezpečnosti staveb, které by měly celý proces vylepšit a zjednodušit. Uvedené snahy jsou spojeny s myšlenkou, i nadále si v České republice zachovat vlastní léty ověřený kvalitní systém posuzování požární bezpečnosti staveb.

ÚVOD

Základní požadavky na stavby jsou určeny Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS [1]. Mezi vlastnosti, které musí stavby splnit, patří také požadavky na požární bezpečnost.

Podmínky pro posuzování staveb z hlediska požární bezpečnosti jsou v České republice řešeny zejména zákonem o požární ochraně [3], vyhláškou o požární prevenci [4] a vyhláškou o technických podmínkách požární ochrany staveb [5]. Další podmínky stanoví právní předpisy navazující na stavební zákon [6], zejména vyhláška o dokumentaci staveb [7]. Požadavky na požární bezpečnost staveb jsou dále rozvíjeny kodexem norem požární bezpečnosti staveb ČSN 73 08xx, který byl vyvíjen od roku 1974 [8, 9].

Současnost je charakteristická poměrně rozsáhlými úpravami kodexu norem požární bezpečnosti staveb. Aktuálně řešené úpravy byly vyvolány revizí normy ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení [10], ke které došlo v roce 2016. Původní předpoklad „drobné změny“ se postupně překlenuje v rozsáhlou revizi dokumentu, která obsahovala zejména přepracování pravidel pro zateplování budov z hlediska požární bezpečnosti, úpravu požadavků na stavební konstrukce tak, aby nebránily využívání nových technologií, zapracování požadavků na spalínové cesty, vytvoření společných pravidel pro dveře na únikových cestách, upřesnění požadavků na samozavírače na dveřích s požární odolností, upřesnění podmínek pro aplikaci nátěrů zajišťujících zvýšení požární odolnosti konstrukcí a přepracování požadavků na těsnění prostupů. Současně došlo k přepracování přílohy B normy, která stanoví podmínky součinnosti aktivních požárně bezpečnostních a jiných zařízení [11].

V současné době jsou rovněž realizovány výzkumné práce, které mají určit směr posuzování požární bezpečnosti staveb do budoucnosti.

AKTUÁLNÍ ZMĚNY KODEXU NOREM POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI STAVEB

Revize popisované technické normy vyvolala potřebu úpravy řady norem kodexu požární bezpečnosti staveb. Aktuálně jsou připravovány změny následujících norem:

- ☐ ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty,
- ☐ ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty,
- ☐ ČSN 73 0831 Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory,
- ☐ ČSN 73 0833 Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování,
- ☐ ČSN 73 0835 Požární bezpečnost staveb – Budovy zdravotnických zařízení a sociální péče,
- ☐ ČSN 73 0843 Požární bezpečnost staveb – Objekty spojů a poštovních provozů,
- ☐ ČSN 73 0848 Požární bezpečnost staveb – Kabelové rozvody.

Změny by měly přinést především sjednocení kodexu norem požární bezpečnosti staveb, opravu chyb, zjednodušení a zlepšení přehlednosti a reakci na současné bezpečnostní trendy.

Mezi významné změny patří rovněž zásadní přepracování principů pro větrání chráněných únikových cest. Dochází k odstranění nadměrného množství požadavků pro jejich návrh, jejich občasné protichůdnosti a celkovému odbornému sjednocení požadavků požárních a vzduchotechnických.

Současně byly upraveny vstupní hodnoty pro návrh zařízení pro odvod kouře a tepla. Jedná se postup pro stanovení hodnoty uvolňovaného tepelného toku v návaznosti na kodex norem požární bezpečnosti staveb, který je zásadní pro návrh tohoto požárně bezpečnostního zařízení [12].

Změny uvedených technických norem byly v současné době projednány v rámci Subkomise SK1 Technické normalizační komise TNK 27 Požární bezpečnost staveb. Předpokládá se, že uvedené změny nabytou platnosti v průběhu roku 2019, případně počátkem roku 2020.

KONCEPT ZMĚN S VÝHLEDEM DO BUDOUCNOSTI

Současný systém posuzování požární bezpečnosti staveb v České republice je již delší dobu předmětem diskuzí odborníků.

Bezpečnostní výzkum České republiky

Příprava systémové změny je v průběhu let 2018 až 2020 řešena v rámci Bezpečnostního výzkumu České republiky v rámci projektu „Analýza bezpečnostních přístupů v oblasti

navrhování požární bezpečnosti staveb a návrh řešení pro Českou republiku“ (VH20182020032).

V rámci projektu jsou řešeny následující oblasti:

- analýza postupů navrhování požární bezpečnosti staveb v zahraničí,
- analýza stávajících postupů navrhování požární bezpečnosti staveb v České republice (rozbor kodexu norem požární bezpečnosti staveb řady ČSN 73 08xx a norem souvisejících, včetně specifikace problematických oblastí),
- syntéza poznatků z analýz postupů pro navrhování staveb, vytvoření nového, nebo zpracování návrhu úpravy stávajícího systému navrhování požární bezpečnosti staveb v České republice,
- připravit implementaci metod požárního inženýrství do systému navrhování požární bezpečnosti staveb,
- procesní analýza a případná úprava rozsahu výkonu státního požárního dozoru ve vztahu k posuzování staveb.

Koncept nového systému navrhování požární bezpečnosti staveb v České republice

V následujících odstavcích budou prezentován koncept možného postupu pro vytvoření kategorizace staveb s rozdílnými požadavky na úroveň požární bezpečnosti.

Návrh kategorií staveb s předpokládanou úrovní hodnocení z hlediska požární bezpečnosti (postupem řešení) je uveden v tab. 1.

Tab. 1 Kategorie staveb a postup řešení z hlediska požární bezpečnosti (upraveno z [2])

Označení kategorie	Popis kategorie	Postup řešení
Kategorie I	nevýznamné stavby	bez hodnocení
Kategorie II	jednoduché stavby	podle zjednodušených postupů
Kategorie III	běžné stavby (stavby mimo kategorií I, II a IV)	podle normových postupů
Kategorie IV	významné stavby, stavby se specifickým rizikem	podle normových postupů, využití specifických postupů (požární inženýrství)

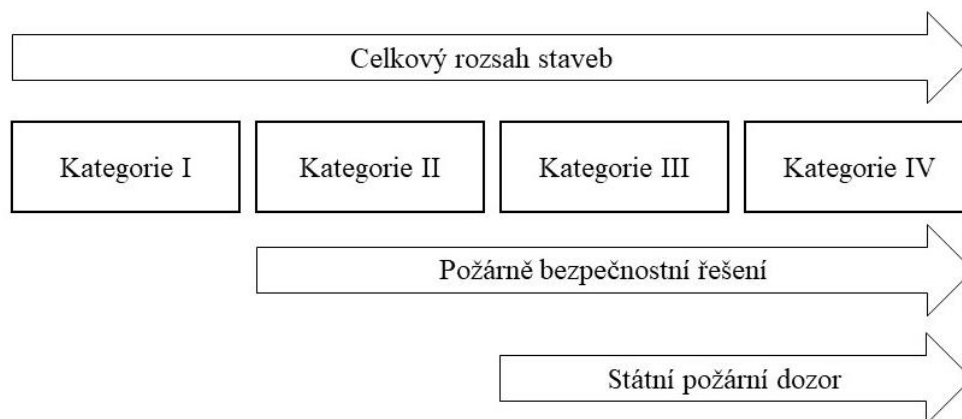
Vzhledem k jednotlivým kategoriím staveb je nezbytné specifikovat požadavek na zpracování požárně bezpečnostního řešení (dále také jen „PBŘ“), požadavky na zpracovatele PBŘ ve smyslu autorizačního zákona [13] a požadavky z hlediska výkonu státního požárního dozoru (dále také jen „SPD“) [3] (viz tab. 2).

Tab. 2 Požadavky na zpracování PBŘ, na zpracovatele PBŘ a výkon státního požárního dozoru pro jednotlivé kategorie staveb (upraveno z [2])

Označení kategorie	Zpracování PBŘ	Zpracovatel	Výkon SPD
Kategorie I	ne	není	bez výkonu SPD
Kategorie II	ano	autorizovaný architekt, technik nebo inženýr pro pozemní stavby nebo požární bezpečnost staveb	bez výkonu SPD
Kategorie III	ano	autorizovaný technik nebo inženýr pro požární bezpečnost staveb	s výkonem SPD

Kategorie IV	ano	autorizovaný technik nebo inženýr pro požární bezpečnost staveb s případným využitím SPD expertních podkladů	s výkonem
--------------	-----	--	-----------

Rozsah zpracování požárně bezpečnostního řešení a výkonu státního požárního dozoru v závislosti na kategorizaci staveb je znázorněn na obr. 1.



Obr. 1 Znázornění návrhu kategorizace staveb, rozsahu zpracování požárně bezpečnostního řešení a výkonu státního požárního dozoru

ZÁVĚR

Aktuální poměrně rozsáhlé změny kodexu norem požární bezpečnosti staveb byly vyvolány vznikem nových technologií a s tím související výskyt nových rizik a rozsáhlou revizí normy ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Změny jsou zapracovávány do ostatních norem kodexu, přičemž dochází současně k odstraňování nedostatků v těchto normách. Změny kodexu norem požární bezpečnosti staveb jsou nezbytným pozitivním krokem v jejich vývoji.

Občasné problematická aplikace kodexu norem požární bezpečnosti staveb vyvolala potřebu zbývat se úvahami nad budoucností posuzování staveb z hlediska požární bezpečnosti v České republice. V článku byl prezentován možný koncept omezení rozsahu posuzovaných staveb a postupů posuzování z hlediska požární bezpečnosti formou „kategorizace“. Popisovaný koncept je jedním z možných řešení současné situace.

LITERATURA

- [1] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS. Text s významem pro EHP [online]. 2011.
- [2] Kolektiv autorů. Souhrnná výzkumná zpráva k projektu VH20182020032 Analýza bezpečnostních přístupů v oblasti navrhování požární bezpečnosti staveb a návrh řešení pro Českou republiku. Ostrava, 05/2019.
- [3] Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů [online]. [cit. 2019-06-2]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133>.
- [4] 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. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-246>.
- [5] Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění vyhlášky č. 268/2011 Sb. [online]. [cit. 2019-06-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23>.

- [6] *Zákon č. 183/2006 Sb., zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>.
- [7] *Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění pozdějších předpisů* [online]. [cit. 2019-06-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499/zneni-20180101>.
- [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] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [11] KROCOVA, S. Protection of aquatic ecosystems against accidents in the Czech Republic. *Inžynieria Mineralna*. 2015, roč. 36, č. 2, s. 225–230. ISSN 1640-4920.
- [12] POKORNÝ, J. *Charakteristika sloupce lokálního požáru v kontextu národních standardů pro posuzování požární bezpečnosti staveb v České republice. Habilitační práce*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2017.
- [13] *Zákon č. 360/1992 Sb., o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, ve znění pozdějších předpisů* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-360?text=autorizovan%C3%BDch>.

Poděkování:

Článek vznikl za podpory projektu Ministerstva vnitra České republiky s číslem VH20182020032 *Analýza bezpečnostních přístupů v oblasti navrhování požární bezpečnosti staveb a návrh řešení pro ČR*.

HLUČNOST DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ TKANINOVCH VYÚSTEK

Zdeněk Příhoda, Tomáš Trávníček, Michal Bureš

PŘÍHODA s. r. o.

director@prihoda.com, development3@prihoda.com, development@prihoda.com

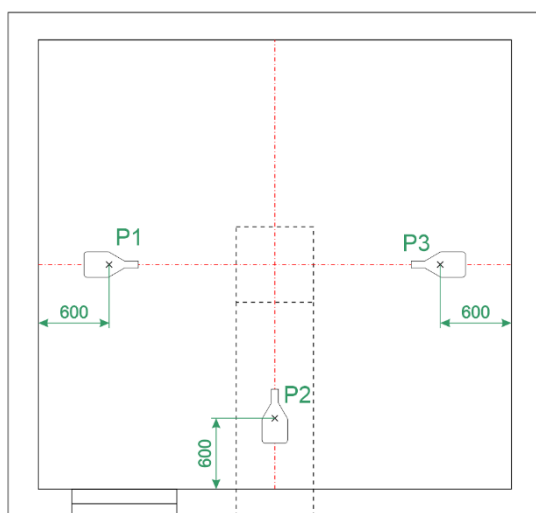
ANOTACE

Tkaninové vyústky jsou obvykle lineárním zdrojem hluku a jednotlivé hladiny akustických výkonů jsou tedy válcové. Hlučnosti jednotlivých distribučních prvků, které jsou nejčastěji rovnoměrně rozmístěny na textilním potrubí, byly proměřeny v dozvukové komoře. V praxi se k nim přičte hladina hluku na vstupu do potrubí, protože ta se potrubím dále nešíří a je bodovým zdrojem. K výrazné změně hlučnosti přívodního elementu často postačí minimální změna konstrukce.

POPIS METODY MĚŘENÍ

Měření probíhalo ve firemní zkušební místnosti o půdorysném rozměru 4,3 x 3,6 m a výšce 2,7 m. Stěny, strop i podlaha jsou obloženy izolací z minerální vaty o tloušťce 250 mm krytou sádkartonovými deskami. Přívodní vzduchové potrubí je vedeno pod stropem v ose kratší stěny. Konstrukce vychází z ČSN EN ISO 3743-1, byť ji v některých detailech zcela nesplňuje. Hladiny akustického výkonu zdroje hluku jsme měřili srovnávací metodou pro zkušební místnosti s tuhými stěnami dle uvedené normy. Součástí kalibračního protokolu referenčního zdroje zvuku je jeho hladina akustického výkonu $L_{W(RSS)}$. Referenční zdroj jsme umístili na podlahu do středu komory a změřili jeho hladinu akustického tlaku $L_{p(RSS)}$. Ta se odečítá od $L_{W(RSS)}$, aby se zohlednila akustická odchylka místnosti. Naměřené hodnoty se korigují na hluk pozadí $K_{1(RSS)}$ a K_1 . Pro stanovení hladiny akustického výkonu zkoušeného zdroje hluku se použije vzorec (1), kde $L_{p(ST)}$ je naměřená časově průměrovaná hodnota hladiny akustického tlaku zdroje hluku

$$L_W = L_{W(RSS)} - L_{p(RSS)} + L_{p(ST)} + K_{1(RSS)} - K_1 \quad (1)$$



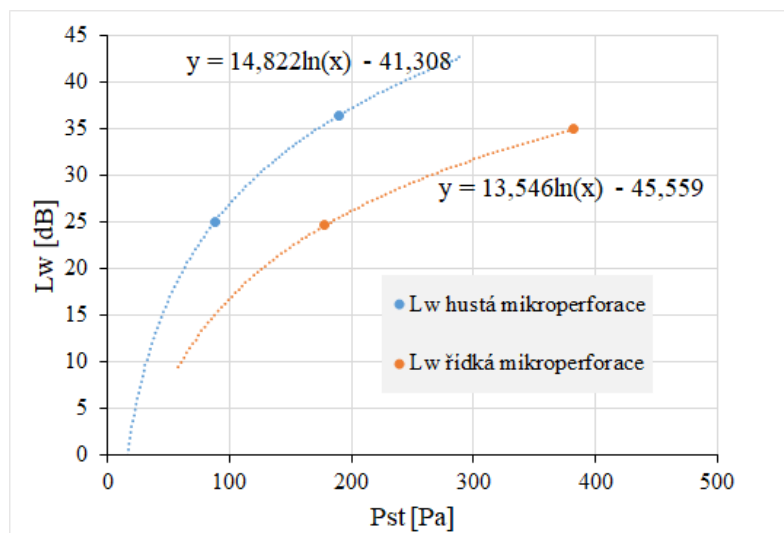
Obr. 1 Půdorysné schéma dozvukové komory

Mikrofony byly umístěny vodorovně ve třech polohách dle Obr. 1, ve výšce 1,35 m. Jejich vzájemné vzdálenosti a poloha vůči stěnám byly stanoveny v závislosti na nejnižším

sledovaném oktávovém pásmu a jeho vlnové délce. Měřili jsme zvukovým analyzátozem Brüel & Kjaer typ 2250L s referenčním zdrojem zvuku stejné značky typ 4204 a kalibrátorem 4231.

NAMĚŘENÁ HLUČNOST DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ

Hladiny akustických výkonů jsme stanovili vždy pro dva různé počty otvorů za dvou různých tlaků. Příklad hodnot získaných pro mikroperforaci 0,4 mm je v grafech na Obr. 2 a Obr. 4.

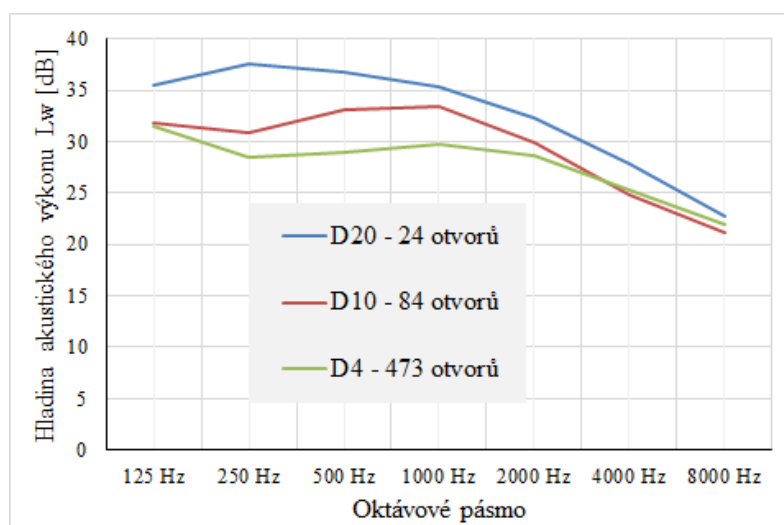


Obr. 2 Naměřené hladiny akustických výkonů v závislosti na hustotě otvorů a statickém tlaku

Měření proběhlo bez vážení jakýmkoliv filtrem (lineárně), vážené hodnoty byly následně dopočítány v tabulce v Excelu. Takto byly stanoveny hladiny akustických výkonů na všech sledovaných frekvenčních pásmech i celkové hladiny akustických výkonů pro všechny měřené distribuční prvky.

a) Perforace

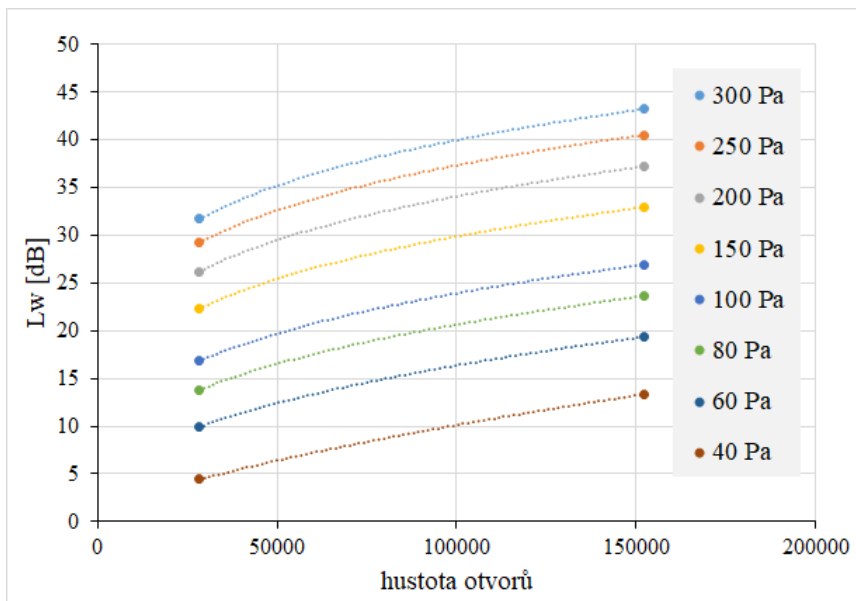
Řady kruhových otvorů o průměrech větších než 4 mm. Nejenom u perforace platí, že čím větší je otvor, tím vyšší je hlučnost. Obr. 3 porovnává otvory o průměru 4, 10 a 20 mm.



Obr. 3 Porovnání hlučnosti různých průměrů perforace

b) Mikroperforace

Plošně uspořádané skupiny otvorů o průměrech menších než 0,4 mm. Pro měření hlučnosti jsme použili největší 0,4 mm otvory.



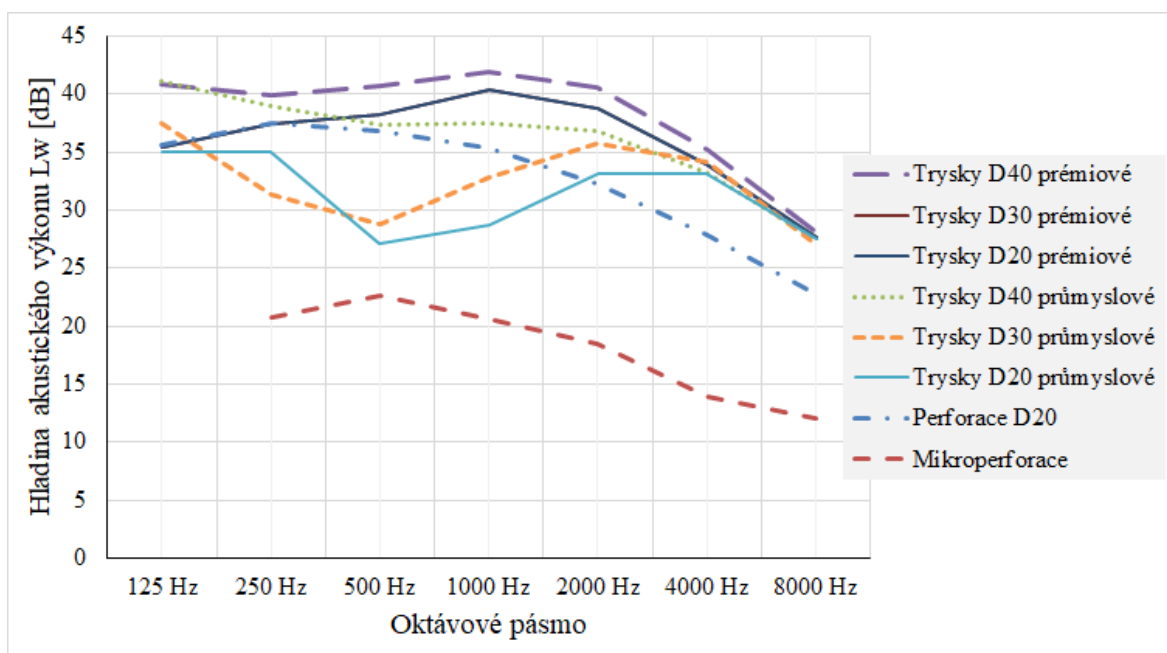
Obr. 4 Růst hlučnosti v závislosti na statickém tlaku a hustotě otvorů

c) Malé trysky

V řadách uspořádané tkaninové trysky o průměrech 20, 30 a 40 mm. Rozlišuje se komfortní a průmyslové provedení.

d) Porovnání

Všechny distribuční prvky jsme porovnali za stejných podmínek. Zvolili jsme přetlak 150 Pa a průtok $300 \text{ m}^3/\text{h}$. Z toho pak vyplynul různý počet prvků pro každý způsob distribuce vzduchu. Výsledky shrnuje Obr. 4.



Obr. 5 Porovnání hlučnosti distribučních prvků

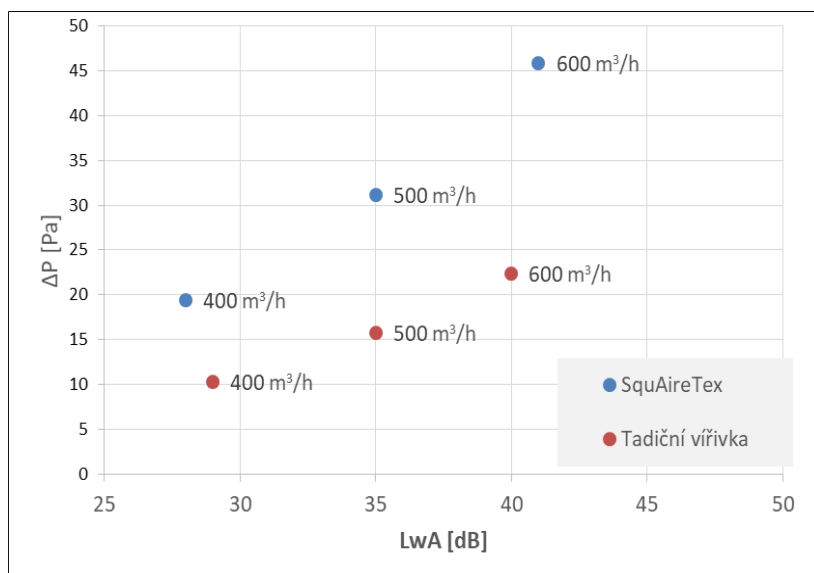
VÍŘIVÉ VYÚSTKY

Při vývoji vířivých vyústek SquAireTex viz Obr. 3 jsme se kromě dosažení dostatečných průtoků a vhodných obrazů proudění snažili i o co nejnižší hlučnost. První verze byly méně průtočné, perforované otvory měly ostré hrany a v kombinaci s navařenou kapsou proud vzduchu vytvářel nepříjemný vysokofrekvenční zvuk podobný syčení. Pro odstranění tohoto lidskému uchu nepříjemného zvuku stačilo hranu otvoru pod kapsou přehnout a vytvořit zaoblený tvar bez ostré hrany. Schéma měření je na obrázku 6.



Obr. 6 Měření tkaninové vířivé vyústky SquAireTex

Vířivé vyústky jsme měřili ve stejné místnosti a stejným způsobem popsáním výše, tedy referenčním zdrojem zvuku. Obr. 7 ukazuje hodnoty dosažené po dlouhém ladění tvaru a uspořádání otvorů a krycích kapes. V porovnání se značkovou plechovou vířivkou dosahují vyústky SquAireTex obdobných hodnot za vyšších tlaků.



Obr. 7 Hladina akustického výkonu vířivých vyústek rozměru 600 mm

TELEVIZNÍ STUDIO

Typickým případem místnosti s extrémními nároky na hlučnost je televizní studio. Řešili jsme atraktivní prostory filmového studia poblíž Bruselu. Zakázka u nás byla objednaná anonymně,

a proto při návrhu a následné výrobě nebyla hlučnost nijak speciálně zohledněna. Haly jsou vysoké 7 a 10 m a vzduchem se chladí i topí s poměrně vysokými rozdíly teplot. Projektant proto zvolil membránové vyústky, které kombinují přívod velkými tryskami pro vytápění a mikroperforací pro chlazení. Po instalaci se zjistilo, že požadovaná třída hluku NR25 je splněna při chlazení, ale poměrně výrazně překročena při vytápění.

Spočítali jsme, že pro dodržení NR25 u podlahy potřebujeme 1 m pod tryskou hladinu akustického tlaku $L_p = 32$ dB. Skutečné hodnoty byly ale podstatně vyšší, přesahující 50 dB. Projektant, veden snahou o jisté dosahy proudů až k podlaze při vytápění, navrhl potrubí se statickým tlakem 200 Pa. Při instalaci byly navíc zaškrceny clonky v tryskách a skutečný tlak byl naměřen až 450 Pa. Naše snaha o řešení se proto nejprve ubírala směrem ke snižování tlaku, což pochopitelně snižuje dosahy proudů a zhoršuje vytápění.

Zkoumali jsme i konstrukci velkých trysek a zjistili zásadní chybu z hlediska hlučnosti. Hrana trysky je vyrobena s látkou zahnutou dovnitř pro vyztužení a lepší vzhled. To ovšem přidává v závislosti na tlaku několik decibelů, například 5 dB při 130 Pa.

Měřením na místě jsme zjišťovali i vnější vlivy a zjistili hlučnost na vstupu do tkaninového potrubí $L_p = 58$ dB pocházejících od ventilátoru v jednotce. Zajímavá je i hlučnost způsobená nárazem přiváděného vzduchu do překážky. Některé závěsné pásy jsou zasaženy proudem vzduchu z perforace, což způsobuje růst hlučnosti z $L_p = 32$ dB na 36 dB.

Námi doporučené řešení spočívalo ve snížení statického tlaku pod 100 Pa. Pro zachování navrhovaného průtoku jsme zvětšili textilní trysky a změnili jejich konstrukci odstraněním ostré hrany. Tato opatření sice snížila hlučnost na požadované hodnoty, ale zhoršila vytápění. Zejména v halách s výškou 10 m nedosáhne proud teplého vzduchu k podlaze a musí být použit přídavný systém vytápění.

ZÁVĚR

Dostatečné prozkoumání hlučnosti distribučních prvků je nezbytnou součástí vývoje každého nového řešení. Velmi malá změna konstrukce může přinést výrazné zlepšení. Kritickým místem bývají ostré hrany v proudě vzduchu. Prostor s vysokými nároky na hlučnost je velmi málo, pro běžné aplikace do třídy hluku NR40 vyhoví textilní vyústky bez jakékoliv speciální úpravy. Pro vyšší nároky je nutný odborný výpočet zahrnující nejen distribuční prvky.

LITERATURA

- [1] CHYSKÝ J., HEMZAL K. *Technický průvodce 31 – Větrání a klimatizace*. Bolit Brno, 1993
- [2] ČSN EN ISO 3743-1. *Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technické metody pro malé přemístitelné zdroje v dozvukovém poli – Část 1: Srovnávací metoda pro zkušební místnosti s tuhými stěnami*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011

POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB A VYUŽITÍ HOŘLAVÝCH CHLADIV V BUDOVÁCH

Marie Rusinová¹, Marian Formánek²

¹Ústav pozemního stavitelství

²Ústav technických zařízení budov

VUT v Brně, Fakulta stavební

rusinova.m@fce.vutbr.cz, formanek.m@fce.vutbr.cz

ANOTACE

Príspevok upozorňuje na významný fakt současné ochrany životního prostředí, kterým je omezování látek s vysokým faktorem GWP, tedy ukazatele vlivu globálního oteplování. Tento ukazatel od roku 2015 omezuje i využití dosud používaných standardních chladiv v chladicích systémech. Nově zaváděná chladicí media jsou charakteristická nízkým ukazatelem GWP, bohužel jsou však na rozdíl od většiny dříve používaných chladiv hořlavá. Tento fakt je předmětem současného zájmu odborníků z oblasti požární bezpečnosti staveb, kteří ve spolupráci se specialisty oboru chlazení pracují na vytýčení zásad pro využití hořlavých chladiv ve stavebních objektech.

ÚVOD

Základním posláním požární bezpečnosti staveb (dále PBS) je na prvním místě bránit šíření požáru uvnitř objektu [1]. Tato zásada je zajištěna tzv. požárním kodexem, tedy normami řady ČSN 7308 xx, jejich naplnění je u běžných staveb v České republice závazné, způsobilost navrženého stavebního záměru z pohledu požární bezpečnosti staveb je prokazována tzv. požárně bezpečnostním řešením stavby (dále PBŘS). U složitých stavebních komplexů jsou při naplňování kroků PBŘS využívány místo některých normativních postupů odborné expertízy.

Současné stavitelství se čím dále tím více zabývá vnitřním prostředím budov s cílem zajištění uživatelského komfortu. Tato snaha je patrná jak u rozsáhlých staveb, tak u staveb drobných. Zajištění vhodného vnitřního prostředí lze zajistit cestou vhodného návrhu základních konstrukčních prvků budovy, z nichž jsou pro daný účel nejvýznamnější stavební prvky ovlivňující vlastnosti vnější obálky budovy. Neméně podstatným faktorem přispívajícím k vyhovujícímu vnitřnímu mikroklimatu je vybavení budovy technickými zařízeními, například systémem chlazení. Tímto způsobem lze zlepšit stav vnitřního mikroklimatu nejen v budovách nově navržených, ale i ve stavbách stávajících. I s ohledem na současný vývoj počasí na našem území začíná využití chladicích zařízení velký nárůst.

Téma chlazení a využití hořlavých chladiv v budovách však není dosud požárním kodexem řešeno samostatně, přestože PBŘS toto zhodnocení vyžaduje [2]. V tomto období vrcholí snaha vytvoření předpisu požární bezpečnosti staveb pro systémy chlazení urychlovaná faktem využívání hořlavých chladiv jak v systémech nově navrhovaných, tak jako náhrad nehořlavých chladiv v okruzích již léta fungujících. Obě varianty zahrnuje ČSN EN 378 [3, 4, 5, 6], která popisuje zařízení, jejich instalaci a provoz z pohledu chladicí a klimatizační techniky (dále CHTK). Nově vznikající dokument navazuje na tuto normu platnou na českém území od roku 2016 a podílejí se na něm Fakulta stavební v Brně, Svaz chladicí a klimatizační techniky, s.r.o. a zastřešujícím orgánem je Generální ředitelství HZS. Publikace dokumentu se očekává na podzim roku 2019 a předkládaný článek zahrnuje úvahy a postupy, které zpracování dokumentu provázejí.

HOŘLAVOST LÁTEK A JEJICH TŘÍDĚNÍ

Látky obecně rozdělujeme na pevné, kapalné a plynné. Z hlediska reakce těchto látek na působení vysokých teplot, které se vyskytují při požáru, popisujeme jednotlivá skupenství pomocí jejich požárně technických charakteristik, tedy měřitelných či jinak klasifikovatelných hodnot.

Pevné látky

Požární bezpečnost staveb pod pojmem pevné látky popisuje stavební výrobky. Stavební výrobky jsou klasifikovány podle své hořlavosti, klasifikačním kritériem je třída reakce na oheň, tedy reakce prvku na vysoké teploty za požáru, viz Tab. 1.

Tab. 1 Třída reakce na oheň stavebních výrobků

Stavební výrobky	Třída reakce na oheň	Příklad
Nehořlavé	A1	stěny z keramických staviv
	A2	sádrovláknité desky
Hořlavé	B	kontaktní zateplení s EPS jako celek
	C	listnaté dřevo rostlé
	D	jehličnaté dřevo rostlé
	E	expandovaný polystyrén
	F	polystyrén standardní

Kapaliny

Hořlavou kapalinu klasifikuje její třída nebezpečnosti, viz Tab. 2, určená dle bodu vzplanutí hořlavé kapaliny. Bod vzplanutí je taková nejnižší teplota, při níž nad hořlavou kapalinou za normálního tlaku vznikne takové množství par, že tyto páry se vzduchem při krátkodobém přiblížení plamene vzplanou, ale pokud plamen oddálíme, dále již nehoří.

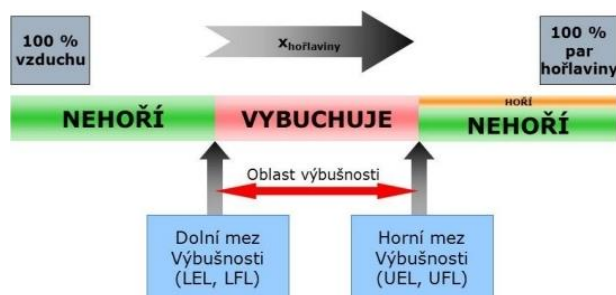
Tab. 2 Třída nebezpečnosti hořlavé kapaliny

Třída nebezpečnosti	Bod vzplanutí [°C]
I.	od 21 °C včetně
II.	od 21 °C do 55 °C včetně
III.	od 55 °C do 100 °C včetně
IV.	více než 100 °C

Nízkovroucí kapaliny s bodem varu pod 21 °C se zařadí k hořlavým kapalinám I. třídy nebezpečnosti.

Plyny

Hořlavé plyny jsou charakterizovány zejména oblastí výbušnosti, v níž směs plynu se vzduchem při působení vysoké teploty vybuchuje. Tuto oblast ohraničují meze výbušnosti (dolní a horní), které uvádějí koncentrace hořlavého plynu v g/m³, při kterých směs už/ještě vybuchuje, viz Obr. 1.



Obr. 1 Meze výbušnosti [7]

Chladicí směsi

Problematika zařazení chladicích směsí z požárně bezpečnostního hlediska spočívá ve faktu, že se dané látky vyskytují ve dvou skupenstvích. Je-li chladicí směs uzavřena v chladicím okruhu za stanoveného tlaku, jedná se o kapalinu. Unikne-li chladivo do prostředí s normální teplotou a atmosférickým tlakem, jedná se ve většině případů o plyn.

VLASTNOSTI CHLADIV A JEJICH BEZPEČNOSTNÍ TŘÍDY

Pod pojmem chladivo rozumíme látku, která v tomu určeném strojním zařízení – chladivovém okruhu, převádí teplo z jednoho prostředí do druhého, v jednom z těchto prostředí je pak výsledná teplota nižší, než je teplota v okolí [8]. V chladivovém okruhu je chladivo kapalnou látku, jejíž teplota varu je při normálním tlaku pod 0 °C. Většina chladicích směsí je těžší než vzduch, výjimku tvoří metan, etan a čpavek. Jak bylo výše řečeno, většina chladiv se mění za normálního tlaku a teploty na plyn, výjimečně zůstávají v kapalně fázi (např. chladivo R11).

Klasifikace chladiv

Chladiva jsou charakterizována ukazatelem vlivu globálního oteplování, jejich toxicitou, hořlavostí a z nich plynoucí bezpečnostní klasifikací chladiv, maximální náplní a praktickým limitem. Tato klasifikace je stanovena ČSN EN 378 [3] a její stručné charakteristiky jsou uvedeny níže.

UKAZATEL Vlivu GLOBÁLNÍHO OTEPLOVÁNÍ

GWP je v současné době určující charakteristikou pro volbu chladiva, preferují se ty s nízkým ukazatelem GWP [9, 10]. GWP hodnotí schopnost zachytit teplo v atmosféře a případně je odrazit zpět k zemskému povrchu. Hranice použitelnosti chladiv z pohledu ukazatele vlivu globálního oteplování je $GWP = 2500$. [11] Chladiva převyšující tuto hodnotu GWP budou po roce 2020 zakázána. Preferovaná chladiva s příznivými hodnotami GWP mezi 450 až 650 jsou bohužel ve větší či menší míře hořlavá.

Toxicita

Chladiva jsou podle své toxicity tříděna na základě dlouhodobého expozičního limitu, klasifikace PEL., viz Tab. 4.

Tab. 3 Třídění chladiv dle klasifikace PEL

Třída chladiva	PEL [ppm]
Třída A	> 400
Třída B	< 400

Hořlavost

Chladiva se podle hořlavosti třídí podle spodní meze hořlavosti pomocí indexu LFL, tedy lower flammability limit. Třídy hořlavosti chladiv jsou závislé jak na indexu LFL [kg.m⁻³] a dále na množství spalného tepla PCL [MJ/kg], viz Tab. 5.

Tab. 4 Třídy chladiv podle jejich hořlavosti

Třídy chladiv dle hořlavosti	LFL [kg.m ⁻³]	index šíření plamene [cm/s]	PCL [MJ/kg]
Třída 1		bez vzniku plamene	
Třída 2	> 0,10	-	< 19
Třída 2L*	-	< 10	-
Třída 3	< 0,10	-	> 19

*třída 2L je nové klasifikační zařazení stanovené [3], např. chladivo R32

Bezpečnostní klasifikace chladiv

Na základě toxicity a hořlavosti jsou chladiva začleněna do bezpečnostních tříd, viz Tab. 6.

Tab. 5 Bezpečnostní třídy chladiv

Bezpečnostní klasifikace chladiv				
s nízkou toxicitou			s vysokou toxicitou	
	ozn.	chladivo	ozn.	chladivo
Vysoká hořlavost	A3	uhlovodíky R290, R600	B3	není
Nízká hořlavost	A2	R152	B2	R30
Mírná hořlavost*	A2L	R32, HFO	B2L	R717
Nehořlavá chladiva	A1	CO ₂ a syntetická chladiva, př. R22	B1	R123

*třída A2L je nové klasifikační zařazení stanovené [3], např. chladivo R32

Maximální náplň

Směrnici PED (Pressure Equipment Directive) jsou stanoveny skupiny definující druh plynu ve vztahu k zařazení kapalin dle PEDu, jedná se o skupiny 1 a 2 [12]. Do skupiny 1 jsou zařazeny nebezpečné kapaliny, tedy hořlavé, výbušné, toxické a oxidační. Druhá skupiny zahrnuje kapaliny bezpečné, nejmenované ve skupině 1.

Praktický limit

Nejvyšší množství náplně určitého chladiva v konkrétním systému a prostředí určuje praktický limit chladiva (practical limit). Pro posouzení možnosti umístění určitého chladicího systému a určitého chladiva v určitém prostředí je nutné znát vlastnosti chladiva, jeho hořlavost, toxicitu a bezpečnostní třídu, umístění chladicího zařízení (přímé, nepřímé, vně či uvnitř obsazených prostor), kategorií přístupu obsazeného prostoru a další vlastnosti obsazeného prostoru (např. jeho objem). Stanoví se maximální množství plynného chladiva v obsazeném prostoru tak, aby toto množství nevyžadovalo dodatečné požadavky na evakuaci místa. Příklady zařazení chladicích směsí k praktickému limitu uvádí Tab. 6.

Tab. 6 Praktický limit konkrétních chladiv

Chladivo	Bezpečnostní třída	Praktický limit [kg.m ⁻³]	LFL [kg.m ⁻³]
R22	A1	0,3	nehořlavé
R32	A2L	0,061	0,307
R1234yf	A2L	0,058	0,289
R600	A3	0,0089	0,038

STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ NÁPLNĚ CHLADIVA A POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍ POSOUZENÍ ZHODNOCENÍ

Vzhledem k rychlému rozšiřování používání mírně hořlavých chladiv A2 a A2L je nutné zaměřit se při navrhování chladicích systémů na větrání obsazených prostorů, tedy prostorů určených pro pobyt lidí dle [3, 4, 5, 6]. Jestliže je $Q \times RCL/10 < 1$, je nutné navrhnout skutečný průtok vzduchu dle vztahu [4]:

$$m = -\frac{10 \times V}{Q} \times \ln\left(1 - \frac{Q \times RCL}{10}\right), \text{ kde je} \quad (1)$$

- m náplň chladiva [kg],
 V objem chlazeného prostoru [m³],
 10 očekávaný maximální jmenovitý únik [m³/h],
 Q průtok vzduchu větráním [m³/h],
 RCL mezní koncentrace chladiva [kg/m³] dle [13].

V opačném případě vztah přechází do podoby:

$$Q = \frac{10}{RCL} \quad (2)$$

Z výše uvedeného plyne, že náplň chladiva je funkcí objemu chlazeného prostoru, průtoku vzduchu větráním a hodnoty RCL, která je např. pro chladivo R32: $RCL = 0,061 \text{ kg.m}^{-3}$. Z této lineární závislosti lze určit náplň chladiva pro určitý objem místnosti, například:

- při $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ je vypočtená náplň chladiva $m = 7,28 \text{ kg}$;
- při $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ je vypočtená náplň chladiva $m = 6,62 \text{ kg}$;
- při $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ je vypočtená náplň chladiva $m = 6,30 \text{ kg}$.

Převědeme-li vypočtené náplně na požární zatížení [14], kdy 1 l hořlavé kapaliny představuje $2,5 \text{ kg.m}^{-2}$ požárního zatížení, získáme hodnotu až $18,2 \text{ kg.m}^{-2}$, což je hodnota poměrně vysoká. Vezmeme-li na vědomí fakt, že v případě úniku látky R32 do běžného prostředí se jedná již o plyn, není zřejmé, kam na chlazeném prostoru zatížení připočítat. Je tedy třeba zdůraznit, že chladicí systém je hermeticky těsné zařízení, tedy zařízení, jehož spoje jsou nerozebíratelné a těsné [3]. Za podmínek běžného provozu budeme vycházet z předpokladu, že chladicí médium zůstává v okruhu a jeho požární zatížení není třeba ve výpočtu požárního rizika chlazených místností zohledňovat.

ZÁVĚR

Hořlavá chladiva jsou složitě klasifikovatelná z pohledu požární bezpečnosti staveb. Je zřejmé, že je nutné považovat chladivový okruh za uzavřené technologické zařízení. V průběhu zpracování problematiky byla opuštěna možnost klasifikovat hořlavé kapaliny, jedná se tedy o hořlavé plyny. Jejich výskyt v prostoru bude nadále limitován maximální náplní stanovenou postupem dle [3] a prostor z hlediska požární bezpečnosti staveb bude dle množství hořlavého

chladiwa monitorován příslušným stupněm technického zabezpečení (samostatné detektory, detekce propojená s EPS a případně dalšími aktivními požární bezpečnostními zařízeními). Použití hořlavých chladiv je stále na svém počátku a jejich začlenění do systému posuzování požární bezpečnosti staveb se bude nadále vyvíjet.

LITERATURA

- [1] ČSN 730802:2009 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.
- [2] VYHLÁŠKA č. 246/2001 Sb., o požární prevenci.
- [3] ČSN EN 378 -1 Chladicí zařízení a tepelná čerpadla - Bezpečnostní a environmentální požadavky - Část 1: Základní požadavky, definice, klasifikace a kritéria volby. 2016.
- [4] ČSN EN 378 – 2 Chladicí zařízení a tepelná čerpadla - Bezpečnostní a environmentální požadavky - Část 2: Konstrukce, výroba, zkoušení, značení a dokumentace. 2016.
- [5] ČSN EN 378 – 3 Chladicí zařízení a tepelná čerpadla - Bezpečnostní a environmentální požadavky - Část 3: Instalační místo a ochrana osob. 2016.
- [6] ČSN EN – 378 – 4 Chladicí zařízení a tepelná čerpadla - Bezpečnostní a environmentální požadavky - Část 4: Provoz, údržba, oprava a rekuperace. 2016
- [7] ZÁMOSTNÝ, P. Bezpečnost chemických výrob. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2860877/>
- [8] SEDLÁŘ, J. Chladiwa – úvod, definice, historie. In: TZB-info [online]. 28. 12. 2015. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/13626-chladiwa-uvod-definice-historie>.
- [9] Nařízení 2038/2002/ES- omezení HFCF chladiv (R22+ směsi obsahující R22).
- [10] Nařízení 517/2014/ES- Omezení používání F-plynů.
- [11] BROŽ, J. Nové směry ve vývoji chladiv do roku 2030. In: Technicka-zarizeni.cz [online]. 6. 3. 2017. Dostupné z: <https://www.technicka-zarizeni.cz/nove-smery-ve-vyvoji-chladiv-do-roku-2030>.
- [12] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2014/68/EU ze dne 15. května 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání tlakových zařízení na trh – PED
- [13] ISO 817 Refrigerants – Designation and safety classification. 2014.
- [14] Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb.

SEZNAM OZNAČENÍ

<i>PBS</i>	požární bezpečnost staveb	
<i>PBŘS</i>	požárně bezpečnostní řešení stavby	
<i>AI- F</i>	třída reakce na oheň	
<i>I.-IV.</i>	třída nebezpečnosti hořlavé kapaliny	
<i>A, B</i>	třída chladiva	
<i>A, B</i>	třída chladiva	
<i>1-3</i>	třída chladiva dle hořlavosti	
<i>GWP</i>	ukazatel vlivu globálního oteplování, global warming potential	
<i>PED</i>	pressure equipment directive, směrnice o tlakových zařízeních	
<i>LFL</i>	spodní mez hořlavosti	[kg.m ⁻³]
<i>PCL</i>	množství spalného tepla	[MJ/kg]
<i>R32</i>	označení chladiva	
<i>PL</i>	praktický limit	[kg.m ⁻³]

Poděkování: Článek vznikl za podpory projektu: Specifický výzkum VUT Brno FAST-S-18-5217 Vývoj nových typů výměníků pro systémy TZB s využitím 3D tisku.

MĚŘENÍ V UNIVERZÁLNÍ KOMPENZOVANÉ KALORIMETRICKÉ KOMOŘE

Jan Skovajsa, Pavel Drábek, Stanislav Sehnálek, Martin Zálešák

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky
jskovajsa@utb.cz, pdrabek@utb.cz, sehnalek@utb.cz

ANOTACE

Příspěvek popisuje moderní zařízení univerzální kompenzované kalorimetrické komory vybudované v rámci laboratoře techniky prostředí ve Zlíně. Univerzální měřicí komora je využitelná pro mnohé aplikace a jednou z nich je měření výkonových parametrů tepelných čerpadel, klimatizačních jednotek. Mimo výkonové parametry je také možné měření akustických parametrů těchto, i dalších, zařízení. Příspěvek bude logicky členěn do tří aplikačních oblastí. První je představení dvou používaných metod měření výkonových parametrů klimatizátorů vzduchu uvedených v platných normách, které je možné v komoře aplikovat, tj. metoda entalpie vody a kalorimetrická metoda. Druhá část příspěvku se bude věnovat navrženým chladicím stropům a jejich měření. Poslední část se bude zabývat stanovením akustických parametrů různých zařízení za využití vnitřních prostor univerzální měřicí komory. Z komplexního hlediska se jedná o představení možné využitelnosti univerzální měřicí komory v oblasti techniky prostředí.

ÚVOD

Moderní doba sebou přináší neustávající proces zvyšování požadavků na komfort vnitřního prostředí při současné snaze snížit energetickou náročnost používaných technických zařízení budov pro vytápění, větrání, chlazení, přípravu teplé vody apod. Jak je již dnes zcela jasné a očekávané, nejde jen o snížení energetické náročnosti budov, ale s ohledem na životní prostředí je také kladen důraz na široké využití obnovitelných zdrojů energie. Tento celý proces je dán mimo jiné také předpisy, směrnici a normami, jež specifikují podmínky pro dané aplikace, účinnosti, výkonové parametry, akustické parametry apod. Tyto dané podmínky vedou k viditelnému a citelnému zlepšování pohodlí ve vnitřních prostorech budov a snižování nákladů na dodanou energii systémům techniky prostředí.

Současně s viditelnými změnami je tímto také vyvíjen značný tlak na výrobce a dodavatele technických zařízení budov, kteří se musejí vypořádat se zvyšujícími se požadavky na parametry jejich zařízení. Chtějí-li výrobci a dodavatelé své výrobky dostat na různé trhy a být konkurenceschopní, musejí splnit veškeré dotčené směrnice, nařízení a normy, které umožní zařízení testovat a hodnotit dle standardizovaných postupů a zařadit je do energetických tříd apod. Na základě těchto údajů mohou být výrobky na trhu nabízeny, příp. mohou na ně být získány také nejrůznější dotační tituly, např. v ČR známá Nová zelená úsporám.

Výrobci a dodavatelé mohou své výrobky testovat buď ve vlastních laboratořích, nebo v externích zkušebnách, které poskytnou nezávislé a přesné měření podle normovaných metodik. Pro tyto účely byla vybudována moderní univerzální kompenzovaná kalorimetrická komora v laboratoři techniky prostředí na výzkumném centru Cebia-Tech, ve spojení s Fakultou aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Měřicí komora je jen jednou z částí měřicích úseků v rámci laboratoře techniky prostředí, ale následující text se zabývá právě touto komorou a možnostmi, které nabízí.

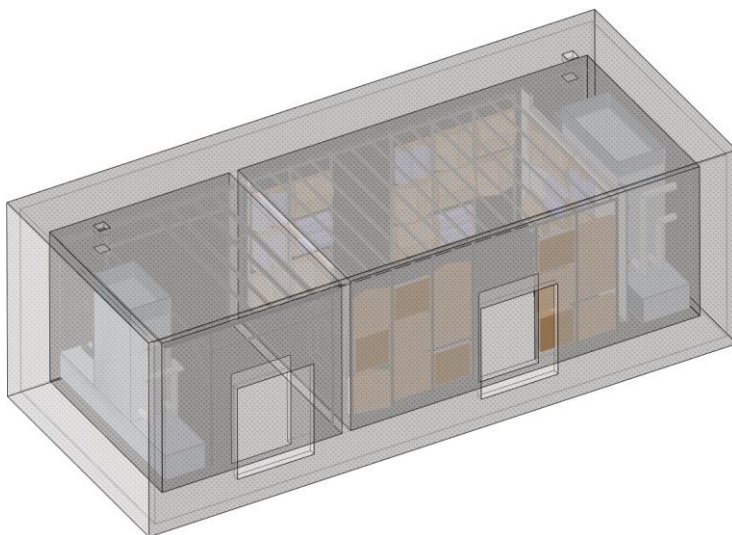
UNIVERZÁLNÍ KOMPENZOVANÁ KALORIMETRICKÁ KOMORA

Univerzální kompenzovaná kalorimetrická komora (nebo jen KKK) je hlavním prvkem laboratoře techniky prostředí. Jak již název napovídá, komora je řešena jako kalorimetr s kompenzací okolního prostředí. Pojem univerzální je využit právě díky variabilnosti a možnostem měření, které komora umožňuje v koncepci s flexibilní dělicí, kalibrovanou, víceúčelovou příčkou. Měřením v komoře se stanovují energeticky výkonové parametry zařízení, např. klimatizací a tepelných čerpadel (zejména typu vzduch-vzduch a vzduch-voda). Komora dále umožňuje svým uspořádáním měření vybraných distribučních elementů vzduchotechniky a zařízení pro úpravu stavu prostředí jako jsou chladicí stropy, chladicí trámce, indukční či ventilátorové jednotky, apod [1-4]. V průběhu zkoušek je možné v měřeném prostoru rozmístit také figuríny, jakožto simulátory lidského těla. Kalorimetrickou komoru lze využít také k měření akustických parametrů zařízení a materiálů. V současné době probíhají na komoře konstrukční úpravy, které výhledově umožní měření výkonových parametrů rekuperačních jednotek dle platných norem.

Konstrukce

Vnější rozměry komory jsou $13,5 \times 6 \times 5$ m. Pro výstavbu komory jsou využity samonosné chladírenské panely, které jsou vhodné také z důvodu požadovaných difúzních parametrů pláště, rozměrové variability, manipulovatelnosti a vhodných akustických parametrů. Veškeré konstrukce vnitřního zkušebního prostoru jsou utěsněny, aby byly vzduchotěsné a parotěsné.

Kompenzovaná kalorimetrická komora je rozdělena na dvě části s odlišnými klimatickými prostředími označené jako část Indoor a Outdoor. Vnitřní zkušební prostory Indoor a Outdoor jsou vybaveny rekondičními jednotkami, pro udržování požadovaných parametrů vnitřního vzduchu, se speciální kombinací dělených výměníků pro vodní chlazení a vodní ohřev, elektrickým ohřevem, elektronicky řízenými zvlhčovači a v části Outdoor je navíc zakomponováno chlazení s přímým odparem pro dosažení záporných teplot. Ventilátory mají plynulé řízení otáček pro udržování požadovaného průtoku.



Obr. 1 Měřicí komora – vnější obálka a 3D vizualizace celé komory

V obou komorách je možné nezávisle na sobě udržovat mikroklimatické podmínky. V komoře Indoor je možnost udržování teploty vzduchu v rozmezí cca $+5$ až $+40$ °C, v komoře Outdoor je možné udržovat teploty vzduchu v rozsahu cca -25 °C až $+40$ °C. Požadované kombinace udržovaných teplot vzduchu a vlhkostí vzduchu pro různé zkoušky udávají příslušné normy.

Pro udržování parametrů v kompenzačních prostorech jsou využity klimatizační jednotky ve venkovním provedení se zesílenou izolací, dělenými výměníky, výparníky, elektrickými ohřivači a ventilátory. V kompenzačních prostorech musí být udržovány stejné parametry teplot, jako v příslušných zkušebních prostorech.

Zdroje chladu a tepla

Jako zdroj chladu pro vodní chladiče kompenzačních a rekondičních jednotek komory je použito chladicí zařízení s plynule řízeným výkonem pro nabíjení akumulací nádrže nemrznoucí směsí. Nemrznoucí směs je dále dle potřeby distribuována do jednotlivých okruhů jednotek. Pro teploty pod bodem mrazu je využita kondenzační jednotka s kompresorem s plynulou regulací a jednotlivé sekce výparníků u příslušných jednotek jsou vybaveny elektronické vstřikovací ventily.

Zdrojem tepla je elektrokotel s akumulací nádržemi a následnými řízenými směšovacími okruhy.



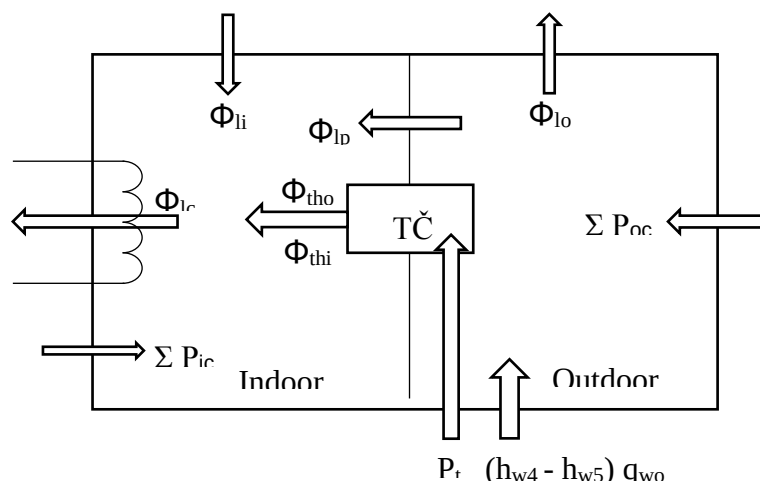
Obr. 2 Zleva – směšovací okruhy, akumulací nádrže, rekondiční jednotka „Indoor“

MĚŘENÍ V KKK – TČ

Měření výkonových parametrů

Výkonové parametry zařízení je možné v komoře stanovit různými způsoby, které jsou v souladu s uvedenými v ČSN EN 14511-3. Mezi způsoby, které norma definuje, jsou měření tepelného, příp. chladicího výkonu v kalorimetrické komoře, metoda entalpie vzduchu, anebo měření tepelného výkonu zpětně získaného. V rámci laboratoře se využívá metoda měření v kalorimetrické komoře a měření tepelného výkonu zpětně získaného.

Při kalorimetrické metodě se využívá kalorimetr pro stanovení výkonu jednotky pomocí měření efektu regenerační jednotky. Jak již bylo uvedeno, komora obsahuje dvě části, přičemž je každá vybavena regenerační jednotkou pro udržování podmínek zkoušky. Regenerační zařízení zajišťuje chlazení, ohřev a zvlhčování, příp. odvlhčování, čímž dochází k maření výkonu zkušebního zařízení. Běžně se využívají dva základní typy kalorimetru: s kalibrovanými okolními podmínkami a s vyvažováním na okolní podmínky. Představená komora primárně využívá vyvažování (kompenzování) okolních podmínek.



Obr. 3 Energetické toky kalorimetrem během zkoušek [1]

Tepelný výkon lze u kalorimetrické metody stanovit měřením ve vnitřní komoře:

$$\phi_{thi} = \phi_{lci} - \phi_{lp} - \phi_{li} - \sum P_{ic} \quad (1)$$

nebo vnější komoře:

$$\phi_{tho} = \sum P_{oc} + P_t + q_{wc}(h_{w4} - h_{w5}) - \phi_{lp} - \phi_{lo} \quad (2)$$

anebo odvozením z výkonu vodní strany (u jednotek kapalina – vzduch):

$$\phi_{tho} = \phi_{eo} + \sum P_E \quad (3)$$

Pozn.: Schéma toků energií v ČSN EN 14511-3 (Příloha A.5: Výpočet – tepelné výkony viz Obr. 3 obsahuje symboliku toků energií, kde je tepelný tok skrze příčku mezi komorami z vnější do vnitřní. Analogie uvedených vzorců odpovídá schématu, ovšem běžně je tepelný tok opačný, tedy z vnitřní (teplejší) komory do vnější (chladnější). Ve výpočtech je tedy nutné dbát na to, že při dodržení schématu a vzorců má tepelný tok zápornou hodnotu.

Metoda měření tepelného výkonu zpětně získaného u tepelných čerpadel typu vzduch-voda a voda-voda a jednotek pro chlazení kapalin se musí stanovovat v souladu s přímou metodou u vodního tepelného výměníku na zpětné získávání tepla, pomocí objemového průtoku, vstupní a výstupní teploty a měrné tepelné kapacity a hustoty teploty látky. Představená komora k této metodě (a obecně k měření výkonů vodní strany) využívá přesně měřený a regulovaný hydraulický okruh s deskovým výměníkem, umístěný na pohyblivé konstrukci s připojením na teplý i chladný vodní okruh rekondiční jednotky umístěné v části Indoor. Hodnotu výkonu zpětně získaného lze poté stanovit pomocí rovnice:

$$P_{HR} = q \times \rho \times c_p \times \Delta T \quad (4)$$

Měřený tepelný výkon zpětně získaný se musí korigovat o tepelný tok od čerpadla kapaliny [1].

Měření daných typů TČ

Podle informací, které nám dávají dotčené normy a zkušenosti, je možné udělat jednoduchý přehled, jež stanovuje doporučené metody měření pro vybrané typy tepelných čerpadel [1].

Vzduch–vzduch

- měření v kalorimetrické komoře nebo metoda entalpie vzduchu,
- u jednotek s výkonem do 12 kW včetně se musí využít měření v kalorimetrické komoře,

- korekce na teplo z vnitřního ventilátoru.

Voda–vzduch

- měření v kalorimetrické komoře nebo metoda entalpie vzduchu,
- korekce na teplo z vnitřního ventilátoru.

Vzduch–voda a voda–voda

- metoda měření tepelného výkonu zpětně získaného v souladu s přímou metodou u vodního nebo solankového tepelného výměníku na zpětné získávání tepla,
- korekce na teplo z vnitřního čerpadla kapaliny.

Praktické zkušenosti z měření

Z teoretického hlediska jsou výsledky použitých metod totožné. Z hlediska praktického již může docházet k jistým překážkám, které mohou způsobit odlišnosti prováděných měření.

Nejběžněji měřený typ tepelných čerpadel v laboratoři je vzduch-voda, která by se měla v souladu s normou měřit výhradně metodou měření tepelného výkonu zpětně získaného (u vnitřní jednotky). Zde je kladen důraz na přesnost měření a regulace teploty vody a je jednodušší udržovat přesné klimatické podmínky v části „Outdoor“ pomocí dostupných úprav vzduchu rekondiční jednotkou, především v okamžicích, kdy dochází k odmrzovacím cyklům apod. Navíc je tato metoda snadno aplikovatelná i na teploty pod bodem mrazu.

Při použití metody měření v kalorimetrické komoře je nutné udržovat stabilní a přesné klimatické podmínky v „Outdoor“ části i kompenzačním prostoru. To s sebou přináší jistá úskalí, především z pohledu přesnosti měření a regulace. Rekondiční jednotka „Outdoor“ při této metodě využívá pouze elektrický ohřev a zvlhčování, čímž dochází k rovnovážnému energetickému stavu s venkovní měřenou jednotkou tepelného čerpadla.

Tepelná čerpadla, která jsou měřena pomocí obou metod, by měla mít shodný výsledek, ovšem vždy dochází k jistým rozdílům. Malý rozdíl může být způsoben tepelnou ztrátou na vedení chladiwa vycházející z venkovní jednotky čerpadla. Dalším místem, kde může docházet k odlišnostem je zachytávání kondenzátu v konstrukci venkovní jednotky. Tyto rozdíly jsou znatelné především u menších jednotek, kde teplo získané z vodních par je majoritní složkou absorbovaného tepla z komory.

V rámci představené laboratoře a kalorimetrické komory se podařilo eliminovat téměř veškeré vlivy, které mohou měření ovlivnit. Praktická měření a srovnávání obou metod nám dává představu o tom, jakým způsobem byly úpravy a opatření úspěšné. Pro představu je dále uvedeno měření malé jednotky tepelného čerpadla typu vzduch-voda, u které byly provedeny obě metody měření současně. Podmínky měření dle ČSN EN 14511-3 byly A7W35 a A2W35. Výsledné naměřené a vypočtené parametry jsou následující:

A7W35

$$\dot{Q}_{tho} = \sum P_{oC} + P_t + q_{wc}(h_{w4} - h_{w5}) - \dot{Q}_{lp} = 1,325 + 0,955 + 1,927 - (-0,139) = 4,346 \text{ kW}$$

$$P_{HR} = 0,720/3600 \cdot 995,6 \cdot 4176,1 \cdot 5,185 = 4,311 \text{ kW}$$

Rozdíl kalorimetrické a entalpické metody: $\Delta P = 35 \text{ W} \rightarrow 0,7 \%$

A2W35

$$\dot{Q}_{tho} = \sum P_{oC} + P_t + q_{wc}(h_{w4} - h_{w5}) - \dot{Q}_{lp} = 0,503 + 0,729 + 1,161 - (-181) = 2,574 \text{ kW}$$

$$P_{HR} = 0,727/3600 \cdot 995,0 \cdot 4176,1 \cdot 3,02 = 2,534 \text{ kW}$$

Rozdíl kalorimetrické a entalpické metody:

$$\Delta P = 40 \text{ W} \rightarrow 1,6 \%$$

Z výsledků je patrné, že přesnost obou metod je velmi vysoká a odchylky jsou minimální. U nízkých teplot odchylka narůstá, především proto, že již dochází k namrzání výparníku a je složitější přesné měření zkondenzované vody (přičemž poměr tepelného výkonu dodaný skrze vodní páry ve vzduchu je velmi vysoký) i přesto se daří tento jev eliminovat. Z pohledu bezpečnosti a hodnocení parametrů tepelných čerpadel je vhodnější se opírat o hodnoty z měření tepla zpětně získaného na vodní straně, kde není měření přímo ovlivněno namrzáním jednotky. Univerzální kompenzovaná kalorimetrická metoda je vhodná na obě metody, které jsou spolu komparovány pro zajištění správných a přesných výsledků měření.

MĚŘENÍ V KKK – CHLADICÍ TRÁMCE

Mimo měření klimatizátorů vzduchu a tepelných čerpadel, je měřicí komora uzpůsobena také na měření parametrů chladicích stropů a trámů. K tomuto účelu byl také vytvořen prototyp chladicího stropu. Nedílnou součástí bylo také vytvořit postup neboli metodiku měření, dle které by bylo provedeno měření chladicího výkonu tohoto zařízení. Tato metodika vychází z ČSN EN 14240 [5], je aplikována na stávající možnosti laboratoře techniky prostředí v Indoor části komory viz Obr. 5.

Během zkoušky je potřeba zajistit minimální tepelné ztráty okolními stěnami. Proto je udržována teplota vzduchu v okolním kompenzačním prostoru a v Outdoor části stejná, jako uvnitř měřicí komory. Tepelná zátěž je uvnitř měřicího prostoru zajištěna pomocí elektricky vyhřívaných figurín. Elektrický příkon těchto figurín je regulovatelný s maximem 180 W. Maximální vnitřní tepelná zátěž je 200 W/m². Rozmístění těchto figurín proto bylo voleno tak, aby byly dodrženy požadované hodnoty tepelné zátěže, a především byla udržována teplota vzduchu v místnosti dle normativních požadavků.

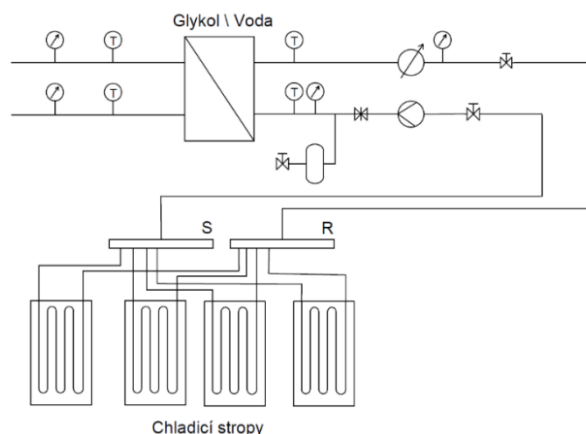
Během zkoušek je měřena teplota a vlhkost vzduchu, povrchové teploty okolních ploch včetně chladicích prvků, teplota teplotního média (vody) uvnitř chladicích prvků. V měřicí komoře je dále měřena také teplota kulového teploměru společně s přesně danými pozicemi teplotních čidel viz Obr. 4.

Ke stanovení chladicího výkonu daného zařízení je nutné měřit také objemový průtok vody proudící do chladicích stropů. Norma dále stanovuje dobu ustálení alespoň 60 minut, během kterých je měřen chladicí výkon. Celkový chladicí výkon chladicího stropu je dán rovnicí

$$P_C = c_p \cdot q_m (\theta_{w2} - \theta_{w1}) \quad (5)$$

Normalizovaný chladicí výkon

$$P_a = \frac{P_C}{A_a} \quad (6)$$



Obr. 4 Schéma hydraulického zapojení chladicích stropů



Obr. 5 Měření chladicích stropů, figuríny v části „Indoor“

MĚŘENÍ V KKK – AKUSTIKA

Vnitřní prostor Outdoor části komory byl navržen tak, aby umožňoval měření i akustických parametrů různých strojních zařízení do vymezené referenční obalové plochy, která byla vodítkem při stanovení velikosti zkušební místnosti. Právě kvůli univerzálnosti komory byl pro určení akustických parametrů zvolen způsob měření v dozvukové místnosti s referenčním zdrojem zvuku. Tento typ akustické laboratoře je zaměřen především na zařízení pracující v rovnovážných cyklech generující širokopásmový hluk, popř. pro stanovení absorpčních vlastností různých materiálů.

Návrh dozvukové místnosti tak, aby došlo k dosažení požadovaných difúzních vlastností na širokém rozsahu frekvencí ve vztahu s rozměrovými a tvarovými parametry, je velmi komplexní záležitost. Je potřeba identifikovat hustotu vlastních kmitů na sledovaném frekvenčním pásmu, dále množství, typ, tvar, materiál a rozmístění difúzních prvků v prostoru. Sledovaným parametrem je dále odezva prostoru na generované akustické vlnění ve vztahu k frekvenci. Výsledkem je laboratoř, která umožňuje poměrně přesná měření od určitého třetinooktávového pásma.



Obr. 6 Měření akustických parametrů tepelného čerpadla v dozvukové komoře

Z hlediska zařízení techniky prostředí se tento typ prostoru uplatňuje k měření hladině akustického výkonu různých chladicích a vytápěcích zdrojů a jejich koncových prvků, a dále vlastního hluku různých potrubních elementů. V užším slova smyslu lze říci, že zařízení slouží k měření hluku vyzařujícího z pláště testovaného objektu nebo hluku vyzařovaného do potrubí.

Problémy nastávají zejména na nízkých frekvencích z hlediska nerovnoměrného rozložení vlastních kmitů v prostoru, to se podepisuje na velikosti nejistoty typu A. V případě měření vlastního hluku je důležitý způsob regulace, který musí být takový, aby nedocházelo k ovlivnění akustických měření. Z toho důvodu je vhodné použít talířový regulační element na sání ventilátoru. Jakákoliv klapka, jiný vřazený element musí být umístěn ve směru proudu až za měřicí rovinu. Nejlépe by před tímto elementem mělo být umístěno bezodrazé zakončení. Obecně se zařízení umísťuje v poloze obvyklé při jejím použití. Vyústky, které nejsou umístěny na stěně, musí být ve zkušební místnosti nejméně 1 m od stěn a mimo osy souměrnosti místnosti. Při měření zařízení, kt. je obvykle umístěno nad stropem nebo v sousedním prostoru, je nutné měřené zařízení umístit mimo zkušebnu a propojeno neobloženým potrubím délky 1,5m se zkušebnou. Nicméně tento typ laboratoře je možné použít i pro měření zařízení s diskretními složkami v případě jistých úprav, viz. [6].

ZÁVĚR

Rozšiřující se požadavky na kvalitu vnitřního prostředí s sebou přinášejí také zvýšené nároky na systémy techniky prostředí, které se neustále vyvíjejí a je potřeba je vhodným způsobem testovat. K tomuto účelu byla postavena laboratoř techniky prostředí, kde je vybudována také moderní univerzální kompenzovaná kalorimetrická komora. Předložený příspěvek není zaměřen primárně na vědecké bádání, ale představuje stručně možnosti, které měřicí komora nabízí. Především možnosti měření výkonových parametrů tepelných čerpadel, klimatizačních jednotek, chladicích stropů a trámů apod. Mimo výkonové parametry je také možné měření akustických parametrů těchto, i dalších, zařízení. Vybudovaná laboratoř techniky prostředí nabízí široké možnosti využití nejen pro výzkum v rámci výzkumného centra Cebia-Tech při FAI UTB ve Zlíně, ale také využití externími subjekty, které mohou využít laboratoř k testování a ověřování potřebných parametrů, příp. také k výzkumu a vývoji svých zařízení. Mimo jiné je také snaha laboratoř dostat do povědomí odborné obce, kde je možné hledat vzájemnou spolupráci vedoucí ke zvyšování kvality a efektivity systémů techniky prostředí.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 14511-3. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla pro ohřívání a chlazení prostoru a procesní chladiče, s elektricky poháněnými kompresory – Část 3: Zkušební metody*. Praha: ÚNMZ, 2019.

- [2] ČSN EN 15116. *Větrání budov – Chladicí trámce – Zkoušení a hodnocení aktivních chladicích trámců*. Praha: ÚNMZ, 2008.
- [3] ČSN EN 14518. *Větrání budov – Chladicí trámce – Zkoušení a hodnocení pasivních chladicích trámců*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [4] ČSN EN 14825. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a hodnocení při podmínkách s částečným zatížením a výpočet sezonní výkonnosti*. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [5] ČSN EN 14240. *Větrání budov – Chladicí kryty – Zkoušení a hodnocení*. Praha: ÚNMZ, 2004.
- [6] ČSN EN ISO 3741. *Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Přesné metody pro dozvukové zkušební místnosti*. Praha: ÚNMZ, 2010.

SEZNAM OZNAČENÍ

h_{w4}	měrná entalpie vody přiváděné do venkovní komory	[kJ·kg ⁻¹]
h_{w5}	měrná entalpie zkondenzované vody nebo jinovatky	[kJ·kg ⁻¹]
Φ_{e0}	tepelný tok dodaný výparníkovému hadu zařízení	[W]
Φ_{lci}	tepelný tok odvedený z vnitřní komory	[W]
Φ_{li}	pronikání tepla do vnitřní komory (kromě přepážky)	[W]
Φ_{lo}	unikání tepla z venkovní komory (kromě přepážky)	[W]
Φ_{lp}	pronikání tepla v čase přepážkou	[W]
Φ_{thi}	celkový tepelný výkon, údaje vnitřní komory	[W]
Φ_{tho}	celkový tepelný výkon, údaje venkovní komory	[W]
P_t	celkový příkon zařízení	[W]
ΣP_E	efektivní příkon zařízení	[W]
ΣP_{iC}	součet všech příkonů do vnitřní komory	[W]
ΣP_{oC}	součet všech příkonů do vnější komory	[W]
P_{HR}	výkon tepla zpětně získaného	[W]
P_C	celkový chladicí výkon chladicích stropů	[W]
P_a	normalizovaný chladicí výkon chladicích stropů	[W]
A_a	aktivní plocha chladicích stropů	[m ²]
θ_w	teplota vstupní/výstupní vody	[°C]
q_{wc}	rychlost kondenzace vodních par zařízením	[g·s ⁻¹]
q_{wc}	hmotnostní průtok teplotnosného média	[kg·s ⁻¹]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]
c_p	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
ΔT	rozdíl vstupní a výstupní teploty vody	[K]

Tato práce byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu Národního programu udržitelnosti č. LO1303 (MSMT 7778/2014) a Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci projektu CEBIA-Tech č. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 a také interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně č. IGA/CebiaTech/2019/001.

SPOTŘEBA ENERGIE, PROVOZOVÁNÍ A COMMISSIONING BUDOV

Jakub Šimek¹, Miloš Lain²

¹ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

²ČVUT v Praze, UCEEB, RP02

jakub.simek@fs.cvut.cz, milos.lain@fs.cvut.cz

ANOTACE

Problematika spotřeby energie se stává v posledních letech ústředním tématem v mnoha oblastech. Budovám, které ve vyspělých státech spotřebovávají přes 40 % veškeré primární energie spolu s významným podílem na emisích CO₂ [1], tak momentálně náleží značná pozornost. Příspěvek se zabývá problematikou energetické spotřeby technických systémů budov při jejich reálném provozu a commissioningem, a to jak v obecné rovině, tak jako prostředkem pro jejich správný a energeticky efektivní provoz.

ÚVOD

Ekologický i politický aspekt snahy o minimalizaci závislosti Evropské Unie na fosilních zdrojích energie je značnou hybnou silou vedoucí k tlakům na snižování spotřeby energie

a využívání obnovitelných zdrojů. Dle směrnice Evropského parlamentu EPBD 2018 [2] jsou budovy v Evropské Unii zodpovědné za 36 % emisí CO₂ a na vytápění a chlazení je v Unii využíváno téměř 50 % konečné spotřeby energie, z toho 80 % v budovách. Tento fakt staví minimalizaci spotřeby energie spolu s maximální možnou dekarbonizací fondu budov do popředí současných priorit Evropské Unie v této oblasti. V technické praxi se tak setkáváme se stále přísnějšími požadavky jak na tepelně technické vlastnosti konstrukcí budov, tak s neustále zvyšujícími se požadavky na energetické účinnosti zdrojů tepla, chladu a ostatních technických zařízení budov. Málokdo se však zabývá tím, jakým způsobem jsou tyto technologie provozovány a zda skutečně pracují energeticky úsporně, tak jak bylo zamýšleno při jejich návrhu, neboť jak ukázala řada studií [3], [4], [5], nejen návrh, ale i správný provoz těchto systémů má na spotřebu energie zcela zásadní vliv.

I stávající legislativa je v této oblasti zcela nedostačující, byť nová směrnice EPBD z roku 2018 [2] se již reálným provozem budov částečně zabývá a lze očekávat, že v rámci její implementace již budou přijata některá opatření cílící na energeticky efektivní reálný provoz budov. Optimálnímu provozování technických systémů výrazně nepomáhá ani fáze uvedení budovy do provozu, která je dle praktických zkušeností velmi hektická a často se redukuje pouze na ověření funkčnosti systémů a schopnosti dosáhnout požadované úrovně vnitřního prostředí. Je však třeba si uvědomit, že schopnost technického systému zajistit v objektu požadované mikroklimatické podmínky, ještě neznamená, že je systém provozován optimálně, tedy s minimální spotřebou energie při zachování úrovně vnitřního komfortu. Potenciál, pokročilých technologií a sofistikovaného návrhu celého systému ve fázi projektu, tak nemusí být při reálném provozu budov řádně využit.

Tento příspěvek má za cíl, poukázat na problematiku místa spojená s provozováním budov a odpovědět na otázku, zda je tento problém skutečně aktuální a jestli je účelné vynakládat energii ve snaze optimalizovat jejich provoz. Dále se článek zabývá metodou commissioningu budov. Nejprve se tímto ne zcela zažitým a mnohdy nesprávně chápaným pojmem zabývá v obecné rovině, následně jako nástrojem pro energeticky efektivní a udržitelný provoz budov.

SPOTŘEBA BUDOV PŘI REÁLNÉM PROVOZU

Pro mapování a objektivní hodnocení reálného provozu budov v České republice je obecně velmi problematické získat nějaké relevantní údaje. Detailní monitoring provozu, záznam a vyhodnocení historických dat je stále bohužel spíše výjimkou. Tento příspěvek tedy částečně navazuje na článek „Spotřeba energie na chlazení budov“ [6], který analyzoval reálnou spotřebu energie zdrojů chladu patnácti budov během zpravidla pěti let jejich provozu. Jedním ze závěrů tohoto příspěvku bylo zjištění, že spotřeba energie na chlazení vztažená na metr čtvereční klimatizované plochy, se i v rámci budov se stejným využitím (administrativní budovy) zcela zásadním způsobem liší. Detailní analýza poukázala na odlišné přístupy v řízení zdroje chladu a dramatickou změnu spotřeby v případě dvou objektů po změně správcovské firmy, která se starala o provoz technických systémů daných objektů. Tato zjištění pozorovaná na analyzovaném vzorku budov vedla k závěru, že budovy nejsou z hlediska spotřeby energie provozovány efektivně a energeticky úsporně, a že detailní monitoring je zcela zásadní pro optimalizaci jejich provozu.

O situaci jinde ve světě vypovídají výstupy z několika rozsáhlých projektů. Například v Evropě se spotřebě energie v budovách, konkrétně spotřebě klimatizačních systémů věnoval velmi rozsáhlý projekt iServ který proběhl mezi lety 2011 a 2014. Tento projekt s rozpočtem přes 3 milióny eur mapoval celkem 2831 HVAC systémů v 330 budovách napříč šestnácti státy Evropské Unie skrze kontinuální měření a benchmarking. Cílem tohoto projektu bylo mimo jiné poukázat na důležitost měření spotřeb, díky kterému je možné získat zpětnou vazbu z provozu budovy a provést opatření vedoucí k úspoře energie. Aplikováním tohoto přístupu bylo u budov zapojených do projektu dosaženo průměrné úspory elektrické energie přes 9 %. V případě některých budov byla úspora dokonce 33 %. Autor projektu uvádí, že při aplikování tohoto přístupu plošně v Evropě, by bylo možné ušetřit mezi 0,3 % až 5 % celkové spotřeby elektrické energie v celé EU. Úspora v hodnotě přes 20 miliard eur ročně by přitom mohla být dosažena při nákladech pouze cca 1-3 miliardy eur. [3]

Obecně lze konstatovat, že většina studií či rozsáhlejších výzkumů zabývajících se reálnou spotřebou budov, přichází se společným závěrem, a to že většina budov nefunguje správně, přičemž optimalizací jejich provozu je možno dosáhnout značných úspor energie.

SMĚRNICE EPBD 2018

Hlavním legislativním dokumentem, který se komplexněji věnuje spotřebě energie v budovách je směrnice o energetické náročnosti budov EPBD (Energy performance building directive). V rámci národní implementace této směrnice z roku 2002 a 2010 došlo především k zavedení průkazů energetické náročnosti budov (vyhláška 148/2007 Sb.) a zavedení tzv. referenční budovy pro výpočet referenčních hodnot při výpočtu průkazu energetické náročnosti budovy (vyhláška 78/2013 Sb.) [7]. Až současná směrnice z roku 2018, která má být implementována do 10. března 2020, se však výrazněji zabývá spotřebou budov při reálném provozu. [2]

Ve směrnici je nově kladena velká váha stávajícím budovám. V textu je apelováno na nutnost renovace stávajícího fondu budov a jejich „přetvoření“ na budovy s téměř nulovou spotřebou energie a dosažení snížení emise skleníkových plynů do roku 2050 o 80 až 95 %. Směrnice se již nezabývá pouze spotřebou budov, ale věnuje si i otázkám zdravého vnitřního prostředí. Úsporná opatření by tedy měla být komplexní a neměla by řešit pouze obvodový plášť, ale i technické systémy, s cílem snížení spotřeby energie a zároveň zvýšení vizuálního a tepelného komfortu.

Směrnice dále uvádí zjištění ohledně nedostatečné účinnosti způsobu inspekci otopných soustav a klimatizačních systémů neboť „nezajišťují počáteční ani průběžnou hospodárnost

těchto technických systémů“. Cílem při provádění inspekci by dle směrnice mělo být snížení stávající energetické náročnosti otopných soustav, klimatizačních a větracích systémů, a to za reálných podmínek použití. Důraz je zde kladen na schopnost systémů zvyšovat svou hospodárnost za dynamicky se měnících podmínek, jako jsou provozní podmínky částečného zatížení, kdy systém pracuje pouze s částí svého nominálního výkonu. Dále je uvedena možnost nahrazení inspekci pomocí automatizace budov a elektronického monitorování technických systémů budov. Automatizace a monitoring jsou dokonce uvedeny, v případě velkých, jiných než obytných budov s rozsáhlými systémy, jako nákladově nejefektivnější alternativy k inspekci se značným potenciálem nákladově efektivních a významných energetických úspor.

Na automatizaci se v nové směrnici klade poměrně velký důraz, neboť uvádí požadavek na vybavení jiných než obytných budov s otopnou soustavou či kombinovaným systémem pro vytápění a větrání o výkonu vyšším než 290 kW, systémy automatizace a kontroly budov do roku 2025. Přičemž poměrně podrobně uvádí, že tyto systémy automatizace a kontroly budov budou schopné:

- Nepřetržitě monitorovat a analyzovat spotřebu energie a umožňovat její regulaci
- Referenčně srovnávat energetickou účinnost budovy, zjišťovat ztráty účinnosti technických systémů budovy a informovat o možnostech zlepšení energetické účinnosti
- Umožňovat komunikaci s technickými systémy budovy a jinými spotřebiči v budově, jakož i interoperabilitu s technickými systémy budovy, které zahrnují mimo jiné zařízení od různých výrobců

Zvýšený tlak směrem ke snižování spotřeby budov při jejich reálném provozu je určitě pozitivním krokem. Jakým způsobem však bude směrnice implementována do národních právních a správních předpisů a co vlastně budou uvedené metody a požadavky v praxi znamenat, je nyní pouze otázka.

COMMISSIONING

Commissioning (Cx) je pojem, který v současné době v ČR, ale i v řadě jiných států není stále veřejně rozšířen a správně chápán, a to mnohdy ani mezi odbornou veřejností. Mnohdy se lze setkat s překladem a interpretací commissioningu jako procesu „uvádění budovy do provozu“. Tedy fáze po postavení budovy a před jejím předáním investorovi pro ověření její funkčnosti. Tato interpretace je však mírně zavádějící, neboť Cx je mnohem širší pojem a „uvádění budovy do provozu“ je dle obecně uznávaných výkladů a definic tohoto pojmu, pouze jeho jednou součástí.

Commissioning budov, který v současnosti nemá český ekvivalent, je systematický proces řízení kvality návrhu, konstrukce a provozu budov a jejich systémů [8]. Cx zajišťuje, že budova splnila potřeby a požadavky investora a funguje energeticky efektivně. Definice commissioningu dle IEA (International energy agency) Anex 40 [9] charakterizuje Cx jako: „kvalitativně orientovaný proces pro dosažení, ověření a dokumentaci toho, zda výkonnost systémů budovy splnila definované cíle a kritéria. Tato mezinárodně ustanovená definice je velmi blízká definici, kterou používá ASHRAE (the American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers) která definuje Cx jako „proces ujištění, že systémy jsou navrženy, instalovány, otestovány jejich funkčnost a mohou být provozovány a udržovány tak, aby odpovídaly účelu návrhu“.

Co si však pod těmito definicemi v praxi představit? Obecně lze říci, že commissioning budov se velmi široce věnuje problematice energeticky úsporného, bezchybného a udržitelného provozu klimatizačních systémů od rané fáze návrhu až po jejich plný provoz. Jeho metody

a nástroje mají sloužit především k zajištění toho, že pokročilé komponenty a systémy budov pracují jako celek energeticky efektivně a dosahují svého technického potenciálu. Ve fázi provozu budovy se jedná především o nástroje pro detekci a diagnostiku poruch a optimalizaci. Fáze návrhu budovy se pak obecně pojí se značným množstvím možných variant konstrukce budovy a jejích systémů TZB. Nástroje Cx by v tomto případě měly pomoci při posuzování jednotlivých alternativ návrhu. Pro tuto fázi „vzniku“ budovy je také velmi důležitá dokumentace požadavků investora, cílových hodnot (např. spotřeba energie) a dalších důležitých rozhodnutí a znalostí získaných v průběhu návrhu budovy. Ztráta informací, vlivem neprovázanosti jednotlivých fází jako je projekce, výstavba, provoz či změna využití nebo vlastníka, spolu s nekompletní nebo neaktuální dokumentací, je jednou z hlavních překážek pro následné provedení commissioningu ve stávajících budovách a častým důvodem značných problémů při provozování budov spojených s nadměrnou spotřebou energie. Nástroje Cx by tedy měly pomáhat i ve správě informací v průběhu životního cyklu budovy.

V Evropské Unii se problematice commissioningu věnovaly dva rozsáhlé projekty v rámci Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) programu pod záštitou International Energy Agency (IAE). Jednalo se o programy Annex 40 (2000-2005) a následující Annex 47 (2005-2009), na kterých se podílela řada zahraničních států univerzit a organizací včetně České republiky. Podnětem pro tento výzkumný záměr byly předešlé projekty, které přišly se závěrem, že většina budov nefunguje a nikdy nefungovala správně [10]. Dalším impulsem bylo zjištění, že re-commissioningem systému HVAC, tak aby fungoval správně, je možné dosáhnout energetických úspor 20 - 30 % [5]. Mills [4], který prováděl výzkum v USA pod Lawrence Berkeley National Laboratory dokonce prezentuje commissioning jako v dnešní době nejvíce nákladově efektivní strategii pro snižování spotřeby energie, nákladů, a emisí skleníkových plynů v budovách. Toto tvrzení vychází z velmi rozsáhlého výzkumu, který podrobně analyzoval commissioning budov, přičemž vycházel z databáze 643 budov. Tato rozsáhlá analýza odhalila, že třetina projektů, pro které byla dostupná data, obsahovala více než 10 000 nedostatků/problémů spojených se spotřebou energie. Oprava těchto problémů vedla k mediánu celkové úspory energie v budově o velikosti 16 % a doba návratnosti commissioningu byla 1,1 roku.

V praxi je možné rozlišit 4 typy commissioningu. Jedná se o Initial-commissioning, který začíná již během fáze projektu a pokračuje skrz výstavbu až k provozu obsazené budovy. [11] Cílem je zajistit, že se budova „chová“ dle očekávání. Retro-commissioning je Cx, který je poprvé aplikován na stávající budovu. Jeho cílem je zlepšit provoz budovy především pomocí změn provozních parametrů, jako je například časový rozvrh provozu VZT jednotek, aplikace útlumových režimů, optimalizace větrání (potřebné množství čerstvého vzduchu), či detekce a oprava poruch. Re-commissioning je typ Cx, kdy budova, která již historicky prošla procesem Cx, podstoupí další Cx proces, z důvodu ověření či vylepšení provozního stavu budovy. Ongoing-commissioning (jindy označovaný také jako continuous Cx nebo i monitoring-based commissioning) je Cx proces prováděný průběžně za účelem udržení, zlepšení a optimalizace initial commissioningu systémů budovy. Tento průběžný Cx který vychází z kontinuálního monitoringu a analýzy dat je zásadní pro udržitelnost úspor energie, životnost technologií a další úspory plynoucí z průběžné optimalizace provozu. Commissioning tedy není pouhé zprovoznění budovy, ale holistický proces, který by v ideálním případě měl doprovázet celý proces vzniku budovy od definování požadavků investora, přes projekční fázi, fázi výstavby až po plný provoz budovy. Přehled procesu Cx a jeho jednotlivých typů je dobře patrný z Obr.1.

Etapy	Výroba							Provoz a údržba	
Fáze	Fáze před projektem		Projekt		Zpracování	Výstavba		Obsazení a provoz	
Kroky	Program	Plánování	Předběžný návrh	Pracovní návrh	Zpracování	Výstavba	Akceptace	Následná akceptace	Běžný provoz
		Initial Commissioning							Ongoing Commissioning
		Initial Commissioning							Re-Commissioning
		Chybějící Initial Commissioning (nebo chybějící dokumentace z Initial commissioningu)							Retro Commissioning

Obr. 1 Přehled procesu commissioningu (upraveno dle [8])

Cílem zmíněných výzkumných programů bylo jednak umožnit efektivní rozvoj společného chápání Cx a dále vývoj, validace a dokumentace nástrojů commissioningu a iniciace dalšího výzkumu vedoucího ke snížení provozní energetické náročnosti budov se zaměřením na klimatizační systémy a jím příslušné řídicí systémy. Velká pozornost byla věnována commissioningu pokročilých klimatizačních systémů, které jsou zásadní pro moderní nízkoenergetické budovy ve snaze dosáhnout minimální, nebo téměř nulové spotřeby primární energie a emisí CO₂. Jednou z hlavních motivací pro rozvoj Commissioningu v této oblasti je snaha o přerod od intuitivního přístupu, který je ve většině případů v současné době při provozování budov využíván, k více systematickému přístupu zaměřenému na dosažení podstatných energetických úspor.

Konkrétně vznikla řada metodických pokynů či nástrojů k problematice monitoringu a použití senzorů, vizualizaci a analýze naměřených dat či nástroje pro detekci a diagnostiku poruch. Právě práci s daty byla věnována velká pozornost. V případě pokročilých klimatizačních systémů je pro potřeby Cx nutné zpracovávat extrémní množství dat a bez použití výpočetní techniky není v lidských silách takové množství dat zpracovat a získat z nich potřebné informace. V rámci výstupů projektu, bylo tedy představeno několik nástrojů pro práci s daty a jejich vizualizaci, optimalizaci a detekci poruchových stavů pro usnadnění identifikace a realizace potenciálních úspor energie. Právě vhodná vizualizace dat se ukázala jako zcela zásadní pro odhalení skrytých informací o fungování systému. Naopak absence analytických nástrojů při provozování budovy často vede k příliš konzervativním rozhodnutím ohledně volby setpointů či časového rozvrhu provozu jednotlivých zařízení. Běžné příklady takovýchto konzervativních rozhodnutí jsou nadměrné větrání, zbytečné provozování technických systémů mimo provozní hodiny objektu či příliš vysoké nastavení teploty v zimě a příliš nízké v létě.

Jednou z hlavních bariér pro rozšíření Cx na trhu, je dle výstupů z výzkumného projektu především nedostatek metod a nástrojů (především automatických) commissioningu a technologií potřebných pro energeticky efektivní provoz a dosažení potenciálu pokročilých komponent a systémů moderních budov. Další výzkum na poli této problematiky je tak zcela nezbytný. To platí především pro pokročilé a rozsáhlé systémy moderních nízkoenergetických budov. Dynamika a vzájemné interakce jednotlivých subsystémů těchto komplikovaných klimatizačních systémů vyžadují zvláštní úsilí a speciální nástroje pro proces commissioningu. Neboť zvláště zde platí, že zvýšení efektivity jednoho subsystému, nemusí vždy znamenat zlepšení v rámci celku.

Jako hlavní funkce, pro které by existence specializovaných nástrojů značně usnadnila a zefektivnila práci Cx, byly uvedeny:

- Posouzení fungování systému za daných provozních podmínek, včetně uvažování vlivu počasí za účelem posouzení, zda systém splnil požadavky návrhu
- Detekce a diagnostika poruch
- Optimalizace klimatizačních a energetických systémů pomocí nástrojů simulace

Annex 47 také mapoval stav Cx budov v jednotlivých zemích, které byly do projektu zapojeny. V případě Evropy byl mimo Velkou Británii proces commissioningu víceméně nový. Proces Cx a především jeho cíle však do značné míry odpovídají cílům EPBD (European Performance of Buildings Directive) stanoveným Evropskou komisí. Díky tomu mnoho národních výzkumných programů představilo nástroje commissioningu jako prostředky pro dosažení požadavků směrnice (EPBD). Uplatnění prostředků Cx pro dosažení cílů směrnice bude mít pravděpodobně velký vliv i do budoucna, a to právě s ohledem na novou směrnici EPBD 2018, která se již více zabývá reálným provozem budov.

Ve většině zemí Evropy jsou však úlohy Cx stále soustředěny pouze na fázi předání budovy což v mnoha případech znamená pouze hrubou kontrolu kompletnosti instalací a ověření principiální funkčnosti systémů. Česká republika v tomto ohledu bohužel není výjimkou. Právě tato mnohdy chaotická a časově podceněná finální fáze vzniku budovy, spolu s absencí následné optimalizace jejího provozu, vede k nadměrným a zbytečným spotřebám energie či snížené kvalitě vnitřního prostředí.

ZÁVĚR

Vzhledem k vysokému podílu celkové spotřeby primární energie fondem budov a zvyšující se poptávce po vysoce kvalitním vnitřním prostředí, neustále roste tlak na optimální řízení klimatizačních systémů budov. Tlak na snižování spotřeby budov při jejich reálném provozu a na kvalitu vnitřního prostředí se objevuje i v nedávno zveřejněné směrnici Evropské unie o energetické náročnosti budov (EPBD 2018) [2].

Optimálním provozem se v případě techniky prostředí budov zpravidla rozumí zajištění požadavků na kvalitu vnitřního prostředí při minimální spotřebě energie. Vysoce pokročilé technologie a zařízení klimatizačních systémů používané v rozsáhlých moderních nízkoenergetických budovách mají značný potenciál pro energeticky úsporný provoz, tyto technologie však neustále zvyšují komplexitu instalovaných systémů a vliv interakcí jednotlivých subsystémů.

Dle dostupných studií (např. [4], [12]) však budovy většinou nefungují tak, jak bylo zamýšleno a jejich spotřeba energie je často větší, než bylo očekáváno ve fázi návrhu budovy. Pro překlenutí tohoto problému v případě nerezidenčních budov byl v posledních letech představen proces commissioningu, díky kterému je možné dosáhnout značných úspor energie a pomocí jeho nástrojů a postupů zajistit, že budova bude provozována správně, dle požadavků investora a energeticky efektivně. Pro energeticky efektivní provoz a dosažení potenciálu pokročilých komponent a systémů je potřebná řada commissioning nástrojů a technologií. Další výzkum je zcela nezbytný pro jejich vývoj, pro pochopení jejich hodnot při uplatnění na reálných projektech a pro dosažení konceptu budov s téměř nulovou spotřebou primární energie a emisí CO₂ [13], [8].

Aby mohl být proces Commissioningu běžně používán, je třeba celý proces lépe standardizovat, vytvořit prakticky použitelné nástroje či eskalovat jeho využití pomocí nástrojů legislativy. Již samotné porozumění tomuto konceptu a jeho významu a chápání výstavby a následného

provozování budovy se snahou o neustálou optimalizaci jejího provozu jako na sebe nutně navazující proces, může znamenat výrazný posun směrem ke snížení reálné energetické náročnosti, při zvýšení životnosti technických systémů a kvality vnitřního prostředí.

LITERATURA

- [1] SHAIKH, P. et al. "A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 34, 409–429, 2014.
- [2] "SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti," 2018, 844, 75–91.
- [3] KNIGHT, I. Assessing electrical energy use in HVAC systems. REHVA Journal [online]. Dostupné z: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2012/012012/assessing-electrical-energy-use-in-hvac-systems.html>
- [4] MILLS, E. "Building commissioning: a golden opportunity for reducing energy costs and greenhouse gas emissions in the United States," *Energy Effic.*, ročník. 4, číslo. 2, str. 145–173, květen 2011.
- [5] VIESER, J. C. et al., *Commissioning Tools for Improved Building Energy Performance ECBCS Annex 40 Project Summary Report*. 2010.
- [6] ŠIMEK, J., LAIN, M. "Spotřeba energie na chlazení budov," *Vytápění, větrání, Instal.*, ročník 26, číslo 3, str. 130–133, 2019.
- [7] KABELE K., "Změna evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD 3)." [Online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/17969-zmena-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-epbd-3>.
- [8] FERRETTI, N. M., MIYATA, M. a BAUMANN O. "A retrospective on the impact of Annex 40 and Annex 47 research on the international state of building commissioning," *Energy Build.*, 158, 54–61, 2018.
- [9] LEGRIS, CH., FERRETTI, N. M., CHOINIÉRE, D. "Commissioning Overview, a Report of Cost-Effective Commissioning of Existing and Low Energy Buildings, Annex 47."
- [10] VIESER, J. C., JANDON, M. "Commissioning tools for improved energy performance Results of IEA ECBCS ANNEX 40."
- [11] CHOINIÉRE, D., FERRETTI, N. M. "Cost Effective Commissioning of Existing and Low Energy Buildings."
- [12] MILLS, E., MATHEW P. "Monitoring-Based Commissioning: Benchmarking Analysis of 24 UC/CSU/IOU Projects," 2009.
- [13] CHOINIÉRE, D., FERRETTI, N. M. "Cost Effective Commissioning of Existing and Low Energy Buildings - Project Summary Report."

EXPERTNÍ SYSTÉM PRO ANALÝZU VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK V PRAXI

Jan Šíroky¹, Ondřej Nehasil², Vojtěch Mazanec², Lucie Dobiášová², Daniel Adamovský²

¹Energocentrum Plus, s.r.o.

²Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

ANOTACE

Článek popisuje výsledky dosažené v rámci pilotního testování diagnostického systému vzduchotechnických (VZT) jednotek na základě analýzy dat měřených systémem měření a regulace (MaR). Diagnostický systém zahrnuje přes 50 pravidel pro kontrolu provozu VZT jednotek. Do pilotního testování bylo zapojeno přes 80 VZT jednotek. Článek si klade za cíl na konkrétních příkladech představit diagnostiku VZT jednotek a naznačit možné scénáře jejího použití v každodenní praxi.

ÚVOD

Problematika diagnostiky popisovaná v tomto článku představuje nastupující trend, kdy jsou aktivněji využívána měřená data ze systémů MaR za účelem optimalizace provozu TZB. Tento trend je podrobněji představen například v [1]. Výborným zdrojem informací ohledně analýzy TZB dat je iniciativa Smart Energy Analytics Campaign¹, viz například shrnutí činnosti a dosažených výsledků ve zprávě [2].

Tento článek navazuje na předchozí článek [3], kde byl představen koncept diagnostiky VZT. Čtenáře proto odkazujeme na tento zdroj, pokud mají zájem o podrobnosti ohledně principů fungování diagnostiky. Níže budou popsány primárně vybrané dosažené výsledky.

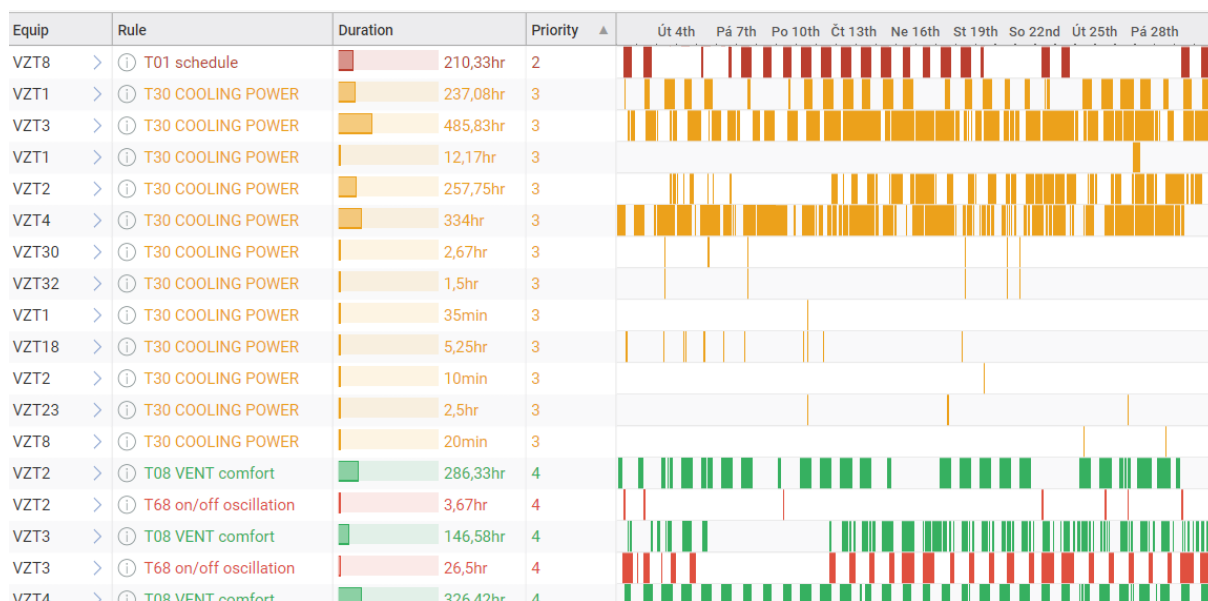
POPIS SYSTÉMU DIAGNOSTIKY VZT JEDNOTEK

Algoritmy využívané pro diagnostiku VZT není možné v plném rozsahu realizovat pomocí standardních prostředků dispečerských systémů (SCADA). Na úrovni dispečerského systému lze realizovat pouze jednodušší pravidla, jako hlídání mezních hodnot. Nicméně taková pravidla, která provádějí složitější výpočty nad historickými daty, jsou nad rámec možností dispečerských systémů. Proto se pro diagnostiku VZT (resp. TZB obecně) začínají využívat specializované nástroje, které používají dispečerský systém pouze jako zdroj dat. Výpočty pak probíhají nezávisle na dispečerském systému a místních řídicích automatech, pouze v rámci diagnostické vrstvy.

V případě diagnostiky popisované v tomto článku byl použit cloudový dispečerský systém Mervis SCADA². Pravidla byla nejprve prototypována v prostředí Matlab. Následně byla reimplementována do prostředí SkySpark (Obrázek 1). Datové rozhraní mezi Mervis SCADA a SkySparkem umožňuje přenos dat na obě strany, tj. jak import měřených dat z Mervis SCADA do SkySparku, tak i export vypočtených výsledků ze SkySparku zpět do Mervis SCADA. Důsledkem je to, že souhrnné ukazatele o nastalých chybách mohou být dostupné i v dispečerském rozhraní Mervis SCADA. Díky tomu i běžní uživatelé dispečerského systému mohou mít k dispozici výstup z diagnostiky spolu s měřenými daty, aniž by se museli přihlašovat do analytického portálu SkySpark.

¹ <https://smart-energy-analytics.org/>

² <https://kb.mervis.info>



Obr. 1 Ukázka části grafického výstupu detekovaných poruch VZT jednotek za jeden měsíc v analytickém portálu SkySpark. Jednotky jsou seřazeny dle priority detekovaných poruch.

DIAGNOSTIKA VZT JEDNOTEK V PRAXI

Diagnostika VZT jednotek bude ilustrována na třech příkladech. První příklad představuje základní pravidla, která kontrolují validitu vstupních dat. Jedná se o jednoduchá pravidla, která mají zásadní význam a musejí být řešena přednostně. Pokud nejsou vstupní data validní, tak nemá význam analyzovat výstupy ze složitějších pravidel. Další dva příklady představují komplexnější pravidla, kdy jsou zkoumány vazby v rámci VZT jednotky i v kontextu režimu provozu VZT.

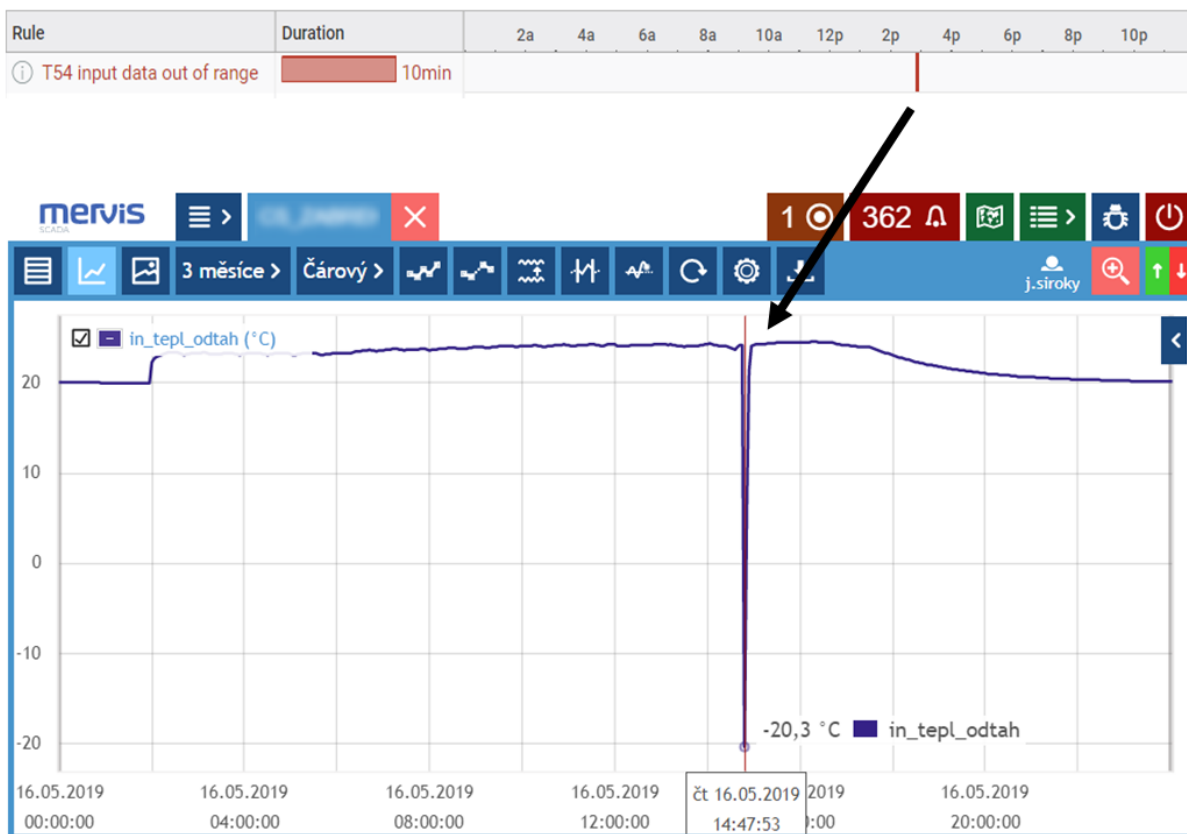
Všechny chyby dále diskutované byly odhaleny diagnostickými algoritmy implementovanými ve SkySparku. Pro názornost jsou detekované chyby prezentovány grafy z Mervis SCADA.

Příklad 1 – validace měřených dat

Systémy MaR pro VZT jednotky jsou relativně složité a typicky je více míst, kde může dojít k výpadkům nebo poruchám s různým dopadem. V rámci diagnostiky je proto nejprve nutné se zaměřit na validaci vstupních dat. Typicky se jedná o detekci

- chybějících dat – např. výpadek komunikace,
- delších úseků konstantních dat – např. chyba analogově digitálního převodníku,
- měřených hodnot mimo očekávané meze – např. chyba senzoru.

Níže (Obrázek 2) je uveden příklad detekované chyby, kdy jsou měřená data mimo očekávané meze. Meze jsou nastaveny pro každý typ proměnné individuálně. Meze jsou nastaveny tak, aby byly odchyceny pouze zcela zjevné chyby měření, viz příklad níže, kde byla krátce měřená teplota odtahu -20°C . Tento krátký výpadek může mít na následek neočekávané stavy VZT jednotky v následujících minutách. Chyby měření s delším trváním je samozřejmě nutné co nejdříve řešit, jelikož dopad na řídicí algoritmus může být zcela zásadní.

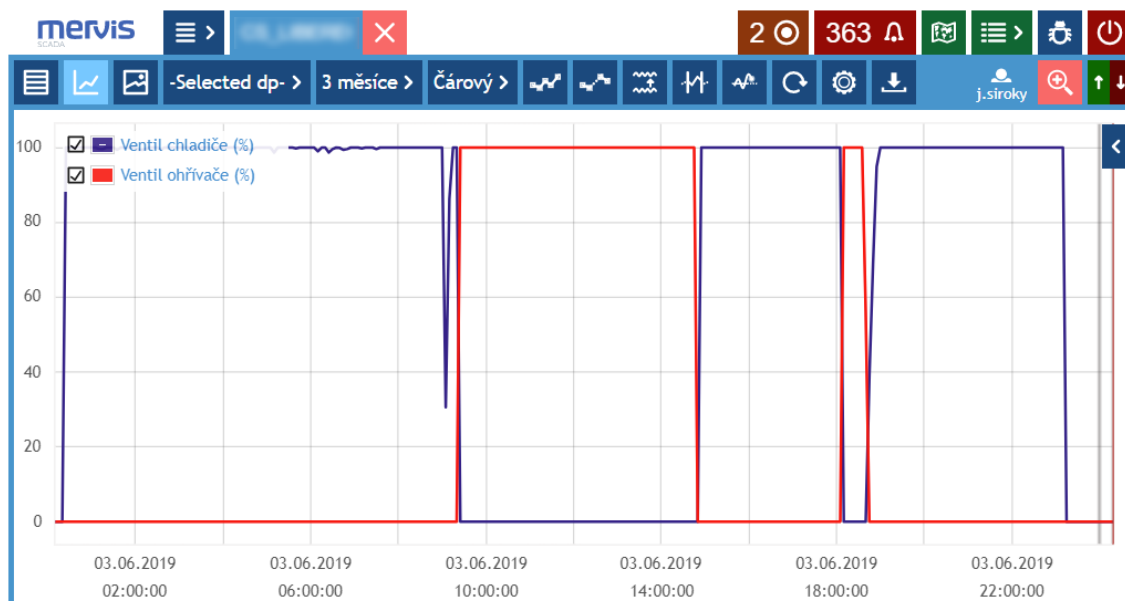


Obr. 2 Příklad detekovaného měření mimo očekávané meze, kdy teplota na odtahu klesla na -20 °C po dobu 5 minut. Takto krátký propad může být způsoben například krátkodobým odpojením čidla teploty. Horní obrázek ukazuje indikaci výskytu chyby v analytickém portálu SkySpark, dolní obrázek podrobný pohled na detekovanou chybu v prostředí Mervis SCADA.

Příklad 2 – střídání vytápění a chlazení

Z pohledu optimalizace provozu VZT mají zásadní dopad pravidla, která nehodnotí izolovaně pouze jeden signál, ale ta, která se zaměřují na vazby mezi jednotlivými signály. Tím je možné odhalit chyby provozu, které sice neovlivní vnitřní komfort, ale mají zásadní dopad na spotřebu energie. Právě tento příklad ilustruje takový typ chyby.

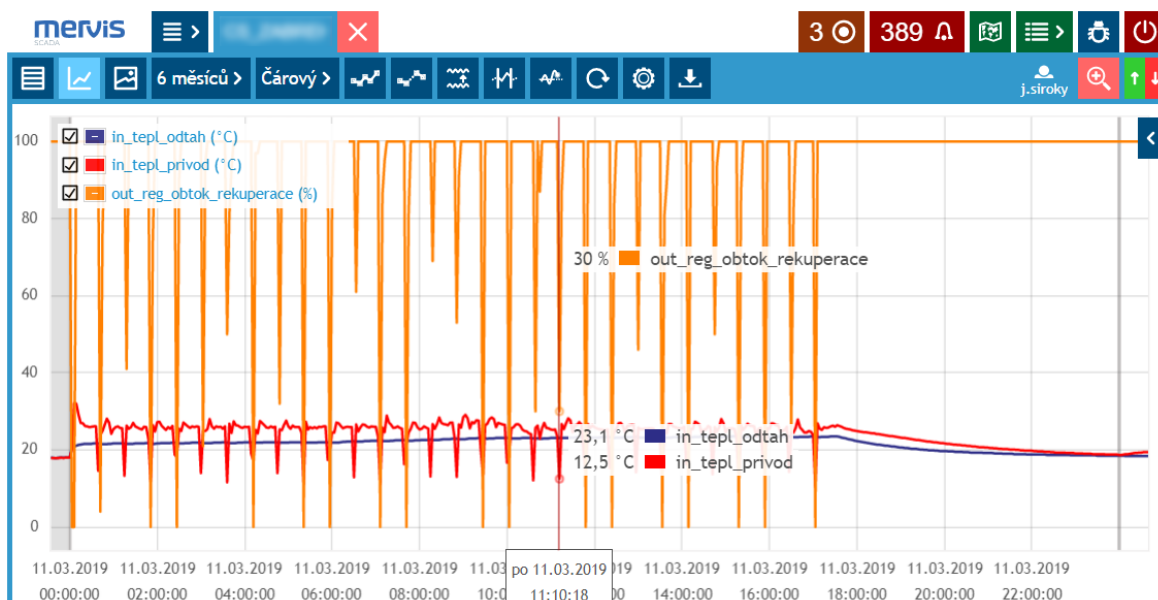
Naprostou klasickou, a stále se opakující chybou, je rychlé přecházení mezi chlazením a vytápěním. Je zřejmé, že jsou dny, kdy je nutné, aby v ranních hodinách VZT jednotka vytápěla a během odpoledne odváděla denní tepelnou zátěž chlazením. Cílem testu je detekovat neadekvátně rychlé přechody mezi oběma režimy (Obrázek 3), kde dochází k přechodu mezi chlazením a vytápěním několikrát během dne a zcela bez prodlevy. Tato chyba je většinou způsobena nevhodným (nebo nevhodně nastaveným) regulačním algoritmem, kdy není uplatněno pásmo necitlivosti, při kterém není nutné ani chladit ani vytápět.



Obr. 3 Příklad moc rychlých přechodů mezi vytápěním a chlazením. K přechodům dochází bezprostředně, což vede k zbytečnému plýtvání energií.

Příklad 3 – špatné ovládání bypassové klapky

Poslední příklad ilustruje typ chyb, které mohou potenciálně mít dopad na komfort vnitřního prostředí. Níže (Obrázek 4) je zachycen provoz VZT jednotky v zimním období, kdy se ve 40minutových intervalech krátkodobě otevírá obtoková klapka ZZT. Tím dochází ke skokové změně přívodní teploty až na 12 °C. Při tomto provozu stačí změna vnitřních dispozic, nebo nastavení vyústek a takto nízká teplota přívodního vzduchu způsobí zásadní problémy s komfortem. V tomto případě se jedná o chybu řídicího algoritmu bypassové klapky.



Obr. 4 Chyba provozu ZZT, kdy dochází ke krátkodobému otevření bypassové klapky a skokovému poklesu teploty příváděného vzduchu.

ZÁVĚR

V článku byly ilustrovány vybrané příklady detekovaných chyb provozu VZT jednotek. Všechny zde prezentované chyby by odhalil i svědomitý provozovatel TZB, kdyby věnoval dostatek času prohlédnutí historických dat a jejich interpretaci. To se ale v praxi neděje a při množství měřených dat systémy MaR je zjevné, že to ani není v možnostech obsluhujícího personálu, aby procházel všechna změřená data. Právě proto jsou důležité automatizované diagnostické nástroje, které provozovatelům budov ušetří mnoho času tím, že měřená data kontrolují a upozorňují pouze na problematická místa.

Co se podařilo

V rámci pilotního testování se jednoznačně potvrdilo, že diagnostika VZT má význam a může přinést zajímavý potenciál úspor energií. V průběhu testování byly detekovány řádově stovky chyb provozu. Řádově desítky z nich byly chyby se zásadním dopadem na spotřebu energie. Některé z detekovaných chyb vedly k maření energie až v řádech stovek tisíc Kč ročně.

Podařilo se diagnostiku navrhnout a implementovat tak, že umí efektivně využít i menší množinu měřených veličin. Nicméně čím více senzorů a akčních členů je k dispozici, tím věrohodnější výsledky lze získat. V souvislosti s osazením senzory jsme narazili na to, že téměř žádná z VZT jednotek neměla k dispozici měřenou teplotu za ZZT. Přitom se jedná o velmi důležitou hodnotu nejen pro diagnostiku, ale i pro řízení.

Velmi potěšující je potvrzení domněnky, že je možné takto odhalit chyby, které nemají dopad na vnitřní komfort, ale mají zásadní dopad na spotřebu energie (viz příklad č. 2 v článku). Tato kategorie chyb v naprosté většině zůstane obsluhou nepovšimnuta z prostého důvodu: „nikdo si nestěžuje“. Je to klasický rozdíl mezi reaktivním přístupem k provozu TZB (tj. reaguji na stížnosti a havárie) a preventivním přístupem k provozu a údržbě, kdy se stížnostem a haváriím snažíme předcházet. V důsledku je preventivní přístup efektivnější, bohužel v praxi zásadní měrou převažuje reaktivní přístup.

Podařilo se zvládnout i výpočetní nároky a implementovat diagnostiku v prostředí, které je uživatelsky přívětivé a umožňuje efektivní práci s měřenými daty a vypočtenými výsledky.

Co se (zatím) nepodařilo

Původní ambicí bylo spolu s detekovanou chybou rovnou odhadovat její dopad na spotřebu energie, vnitřní komfort a životnost zařízení. K našemu překvapení bylo nejtěžší získat věrohodné podklady o parametrech monitorovaných VZT (nominální průtoky, výkony pohonů ventilátorů atd.). Také se ukázalo, že výpočet odhadu zmařené energie je složitější úloha než vlastní detekce chybného stavu. Problematické odhadu množství vyplývané energie se nadále věnujeme.

Dalším překvapením bylo to, jak je v praxi náročné zajistit opravu nalezené chyby, a to i přesto, že subjekty zapojené do pilotního testování prokazovaly potřebnou součinnost. Není výjimkou, že k opravě chyby provozu VZT jednotky došlo až po měsících od jejího objevení. To se týká zejména chyb vyžadujících úpravu řídicího algoritmu v MaR. Na druhou stranu, nemalé procento chyb se podaří opravit v řádu minut pouhým přenastavením parametrů v cloudovém dispečerském systému (Mervis SCADA).

Scénáře možného využití automatizované kontroly provozu VZT jednotek

Přínos automatizované kontroly provozu lze nahlížet z několika úhlů a každý úhel pohledu je důležitý pro jiné subjekty, kterých se týká provoz TZB. V důsledku je důležité, kdo platí, které faktury, a to nejen náklady na energii, servis, opravy, ale i mzdové náklady zaměstnanců

v budově pracujících. Mnohé studie ukázaly zásadní vliv kvality vnitřního prostředí na výkonost lidí, kteří jej užívají.

Níže jsou přínosy rozděleny do tří kategorií a u každé jsou uvedené příklady subjektů, pro které jsou přínosné (typicky jednotlivé subjekty zajímá více přínosů najednou):

- snížení energetické náročnosti provozu – firmy poskytující projekty s garantovanou úsporou (EPC), společnosti poskytující energetické služby (ESCO), provozovatelé TZB,
- dodržení vnitřního komfortu – facility management společnosti (zákazník si nestěžuje na komfort), nájemci (efektivně pracující zaměstnanci),
- zamezení snížení životnosti provozovaných zařízení – servisní firmy, majitelé budov.

Samostatnou kapitolou je pak přínos pro výrobce VZT a dodavatele TZB a MaR. Díky automatizované diagnostice mohou nabízet svým zákazníkům další služby s velmi zajímavou přidanou hodnotou. V neposlední řadě také mohou takto zajistit provoz instalovaných zařízení v optimálních parametrech a zamezit tak provozním chybám, které nejsou způsobené vadou instalovaných zařízení, ale neodbornými zásahy obsluhy.

Chyb v provozu TZB se děje mnoho, což implikuje zajímavý komerční potenciál pro jejich odhalování a řešení pro většinu subjektů souvisejících s provozem TZB.

LITERATURA

- [1] ŠIROKÝ J., Inovativní přístupy k vyhodnocení měřených dat během otopné sezony, konference Vytápění Třeboň, 2019
- [2] KRAMER H, LIN G, GRANDERSON J, CURTIN C, CROWE E. Synthesis of year one outcomes in the smart energy analytics campaign. Lawrence Berkeley National Laboratory, September 2017. [online]. Dostupné z: <https://smart-energy-analytics.org/blog/report-available-year-one-outcomes-smart>; accessed on March 18, 2018
- [3] NEHASIL O., ADAMOVSKÝ D., ŠIROKÝ J., Expertní systém pro analýzu provozu vzduchotechnických jednotek, 22. konference Klimatizace a větrání 2017

REKONSTRUKCE VZDUCHOTECHNIKY VÝROBNÍ HALY PO ŠEDESÁTI ŠESTI LETECH

Ladislav Tintěra¹, Jan Pavlíček²

¹energetický auditor 0006 v seznamu MPO

²AIR TECHNIC Clima s. r. o.

ladislav.tintera@seznam.cz, pavlicek@airtechnic.cz

ANOTACE

Rekonstrukce vzduchotechnického zařízení v hale pro opravy vojenské obrněné techniky. Budova byla postavena v roce 1953. Návrh rekonstrukce byl proveden ve spolupráci energetického auditora a projektanta vzduchotechniky. Ke stávající vzduchotechnice se zděnými komorami se nedochovala žádná projektová dokumentace. Její parametry byly zjišťovány polním měřením vzduchových průtoků, teplot a elektrických příkonů na jednotlivých zařízeních. V těsné spolupráci s projektantem navrhl energetický audit koncepci energetického hospodářství – nová vzduchotechnická zařízení o celkovém výkonu 103 tis. m³/h. Zdrojem tepla je dílem přímý ohřev zemním plynem v největší jednotce 40 tis. m³/h, dílem nová plynová kotelna pro budovu o výkonu 800 kWt. Zvláštností je lokální odsávání ve velké hale z prací při propalování otvorů do skeletů obrněné techniky při použití uhlíkových elektrod. Energetické úspory zajišťují návratnost vložených investičních prostředků.



ÚVOD

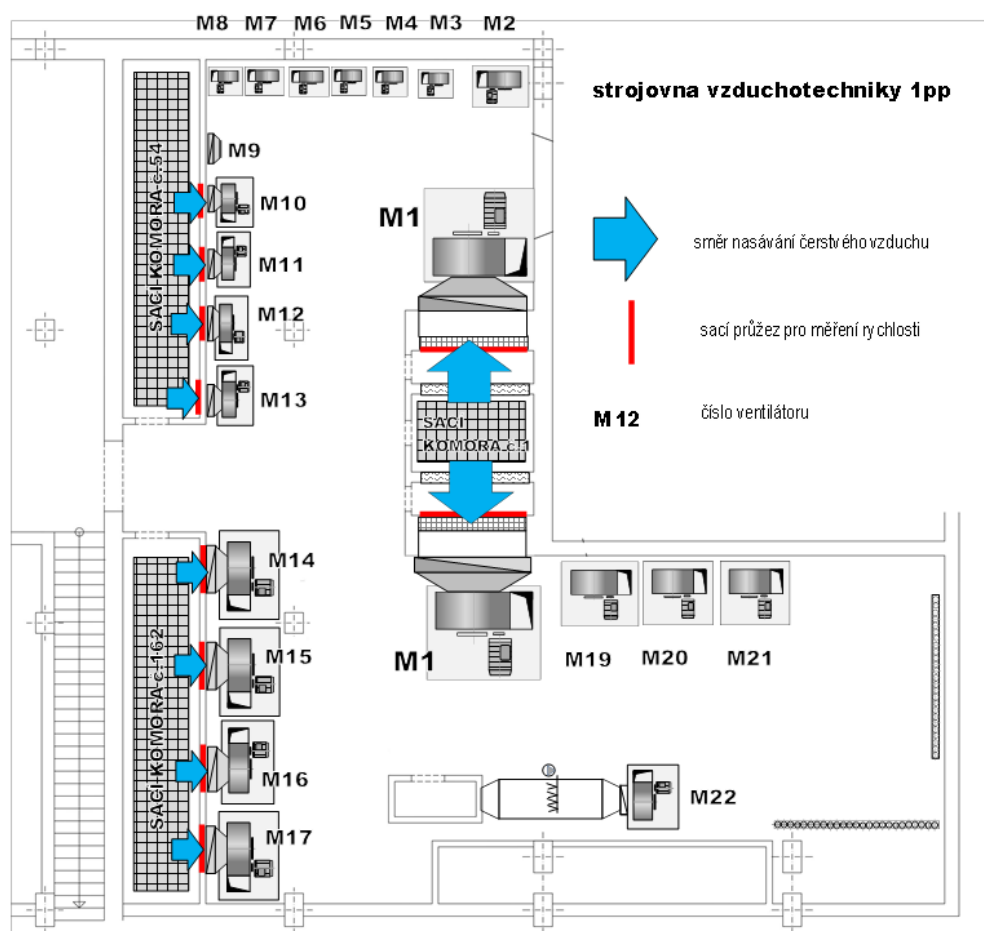
Pro rekonstrukci vzduchotechnických zařízení ve výrobních halách strojírenských provozů je obvykle potřebný jistý impuls. Požadavky hygienické služby, změna technologie, nebo dožití stávajících zařízení. A ještě – možnost financování a efektivnost vynaložených prostředků. V případě haly pro opravy vojenské obrněné techniky se jednotlivé impulsy poskládaly dohromady. Areál bývalého VOP 026 - Vojenského opravárenského závodu ve Šternberku má více jak šedesátiletou tradici, nicméně samotná firma skončila kvůli ekonomickým problémům. Společnost EXCALIBUR ARMY kupuje v roce celý tento výrobní podnik, který pro opravy a výrobu vojenské techniky. Při převzetí se podařilo zachovat kádr kvalifikovaných pracovníků. Díky mezinárodním zakázkám se zvýšila výroba a začaly investice do modernizace a rozvoje areálu. Energetický audit vytypoval slabá místa v energetickém hospodářství a navrhl novou

energetickou koncepcí areálu. Postupně se tak realizuje přechod od centrálního zdroje tepla na lokální zdroje pro jednotlivé objekty a spolu s tím se zavádějí úsporné technologie jak ve výrobě, tak v periferní oblasti energetického hospodářství.

VÝCHOZÍ STAV

Výrobní hala B.10 Demontáže je místem, kde začíná technologický proces oprav vojenské techniky, která sem přichází ve zbědovaném stavu, často s bojovým poškozením. Zde se vozidlo demontuje na prvočinitele. Vnitřní vybavení, včetně motoru putuje po budově do specializovaných dílen a na hale zůstává pancéřová korba, která se tryská pískem a poté na ní probíhají úpravy vyřezáváním otvorů a navařováním nových komponentů.

Objekt se skládá z dvoulodní budovy rozdílných výšek a oboustranných přístaveb. Dvoulodní hala o rozměrech 125 x 41 metrů je částečně podsklepená, převážně jednopodlažní, ve vyšší části je částečně dvoupodlažní. Konstrukce – železobetonové monolitické sloupky a vazníky s cihelnými vyzdívkami. Konstrukce válcové klenuté střechy je železobetonová monolitická s podvěšeným zastropením. Přístavby po delších stranách jsou zděné s dřevěným fošinkovým zastřešením. Výstavba objektu v roce 1951-1953.



Vzduchotechnická zařízení jsou původní, z roku 1953. Dvě strojovny vzduchotechniky v suterénu a přízemí přivádějí vzduch do halových prostorů a do specializovaných dílen. Odváděný vzduch vstupuje do prostoru pod válcovou střechu, kde je odsáván ventilátory přes štít budovy. Čerstvý vzduch je přiváděn centrálně stavebním kanálem přes zděné komory s filtry a předehříváči k jednotlivým ventilátorům. V hlavní strojovně je instalováno dvacet ventilátorů s motorem a řemenovým převodem. Ve strojovně je osazen rozdělovač a sběrač otopné vody. Z něj vychází 24 okruhů. Okruhy jsou na rozdělovači osazeny pouze uzavíracím

a regulačním ventilem, nemají vlastní oběhová čerpadla. Vzduchotechnická zařízení – přívod a odvod vzduchu nejsou připojena na centrální systém měření a regulace. Způsob ovládání je ruční. Není instalována žádná regulace na přívodu tepla – pouze ruční ventily. Není zavedeno měření spotřeby tepla ani elektrické energie.

Od vzduchotechnických zařízení se nedochovala žádná projektová dokumentace. Výkony vzduchotechnických zařízení byly stanoveny měřením průtoku na sání ventilátorů. Měření bylo provedeno pro potřeby Energetického posudku, který je součástí žádosti o dotaci. Z těchto měření pak vychází výpočtové stanovení potřeby tepla pro stanovení energetických a finančních přínosů navrhované rekonstrukce.

Výsledky průzkumu výchozího stavu – situace je velmi problematická. V budově jsou původní vzduchotechnická zařízení z první poloviny padesátých let. Jde o čerstvovzdušné jednotky, bez recirkulace a bez možnosti regulace dodávky/odběru tepla. Vzduchotechnika je v intaktním stavu a velmi obtížně splňuje rostoucí nároky na pracovní prostředí. Hlavním parametrem stávajícího stavu je vzduchový výkon stanovený měřením a výpočtem na 77.322 m³/hod.

Konstatuje se, že vzduchotechnická zařízení jsou stará více jak šedesát let, zařízení jsou čerstvovzdušná, bez rekuperace, nebo možnosti cirkulace, odvod vzduchu z velkých zařízení není řízen, přefukuje se přes prostor půdy pod válcovou střechou budovy a dále netěsnostmi v obvodovém plášti, strojovny se zděnými komorami vykazují značné netěsnosti okolo výměníků, motory ventilátorů jsou předimenzované a v minulosti byly obměňovány systémem „čím větší, tím lepší“. Nejsou známy skutečné výkony jednotlivých zařízení a nejsou ani známy potřeby vzduchu pro provětrávání pracovišť. Dodávka tepla pro ohřev vzduchu není nijak regulována v závislosti na teplotě v prostoru, výměníky jsou osazeny pouze ručními uzavíracími ventily. Není měření spotřeby tepla a elektrické energie.

Stav vzduchotechnických zařízení v budově B.10 lze charakterizovat jako značně energeticky neefektivní. Původní vzduchotechnická zařízení byla navržena pro podmínky výroby v padesátých letech.

CÍLOVÝ STAV

Rekonstrukce vzduchotechniky v budově zahrnuje jak vlastní vzduchotechnická zařízení, tak zdroje tepla – plynovou kotelnu o výkonu 804 kW_t, která bude sloužit pro zásobování budovy teplem a dodávku tepla do dvou přilehlých objektů. Tím se naplňuje koncepce decentralizace zdrojů tepla navrhovaná energetickým auditem.

Hlavní vzduchotechnické jednotky slouží k větrání pracovních prostorů. Vyznačují se přívodem a odvodem vzduchu a vložením rekuperačních výměníků. V prostoru hlavní haly demontáží je dále instalován systém lokálních odsávacích zařízení pro svařování. Základním úkolem veškerých vzduchotechnických zařízení je přivedení takového množství čerstvého vzduchu a tepla, aby byly zajištěny optimální mikroklimatické podmínky a splněny legislativní požadavky a dále aby bylo vyhověno v plné míře danému typu provozu.

Nová vzduchotechnická zařízení pro budovu jsou umístěna ve dvou stávajících strojovnách – v suterénu a v přízemí a mají teplovodní ohřev z nové objektové kotelny. Největší jednotka cca 40 tis. m³/hod je venkovního provedení mimo budovu a slouží pro větrání hlavní výrobní haly a má přímý plynový ohřev.

Seznam vzduchotechnických jednotek:

číslo	název zařízení	umístění	vzduchový výkon [m ³ /hod]
1	Větrání haly demontáží	venkovní prostor	40 000
2	Větrání motorárny	strojovna VZT přízemí	13 000
3	Větrání zámečnických dlen	strojovna VZT suterén	5 200
4	Větrání mechanické diny	strojovna VZT suterén	6 200
5	Větrání zámečnické dílny	strojovna VZT suterén	7 000
6	Větrání obrobny a zám. dílny	strojovna VZT suterén	8 000
7	Větrání šaten muži	strojovna VZT suterén	10 600
8	Větrání denní místnosti	strojovna VZT přízemí	1 750
9	Větrání šaten ženy	strojovna VZT přízemí	2 000
11	Větrání přístavek sever	kotelna	6 000
12	Větrání nové plynové kotelny	kotelna	600
součet			100 350

Standardní uspořádání vzduchotechnických jednotek – přívodní část: filtrační komora s kapsovými filtry tř. M5, rotační rekuperátor včetně frekvenčního měniče, komora se směšovací klapkou, teplovodní ohřívač (nebo přímý ohřev u venkovní jednotky), ventilátorový díl včetně frekvenčního měniče pro přívodní ventilátor. Odvodní část: - filtrační komora s kapsovými filtry tř. M5, ventilátorový díl včetně frekvenčního měniče pro odvodní ventilátor, rotační rekuperátor, koncový díl včetně klapky.



Vzduchotechnické zařízení v centrální halové části doplňuje místní odsávání šesti svářečských pracovišť, na kterých dochází k největšímu vývinu škodlivin, jejichž odsátí není schopno zajistit centrální VZT zařízení 40 tis. m³/hod, přestože je z této části haly řešen odvod největší části odváděného množství vzduchu. Vzhledem k tomu, že svářečské práce nejsou prováděny na pevně daných místech, jsou instalována lokální odsávání s odsávacím ramenem, jehož dosah činí až 9 metrů. Výkon jednoho odsávacího ventilátoru činí až 2 tis. m³/hod. Toto řešení odstraní současný velký problém zadýmování haly při prořezávání otvorů do pancéřových desek korby. To se provádí elektrickým obloukem uhlíkovými elektrodami. Tato technologie nemá alternativu a bylo třeba ji při návrhu rekonstrukce vzduchotechniky respektovat.

Veškerá zařízení jak vzduchotechnická, tak zdroj tepla jsou připojena na nadřazený řídicí systém areálu.

Rekonstrukce vzduchotechnických zařízení je pouze jednou z částí postupné racionalizace spotřeby energie jak v budově, tak v celém areálu. Postupně jsou zaváděny energeticky úsporné technologie – laserové řezání, lakovny, využívá se odpadní teplo z kompresorů, pro přípravu teplé pitné vody se používají samostatné plynové zdroje. Od centrálního zdroje tepla se postupně odpojují další objekty.

VÝPOČTOVÁ ČÁST

Výpočtová část stanovuje pomocí matematického modelování celoroční spotřebu energie v oblasti dotačního projektu OPPIK a zejména v klíčových segmentech spotřeby, jichž se dotýkají navrhovaná úsporná opatření. Stanovuje vstupy jak pro výchozí (současný) stav, tak pro navrhované varianty. Alokuje energetické toky zejména pro zemní plyn mezi zdroji a spotřebiči.

Výpočtová část nahrazuje chybějící měření spotřeby tepla, které není v potřebném rozsahu pro hodnocení projektu OPPIK na rekonstrukci vzduchotechnických a vytápěcích zařízení pro budovu B.10 a budovy přilehlé k dispozici. Návrhová část shrnuje účinky projektu OPPIK a jeho nároky. Jde o shrnutí spotřeby tepla (zemního plynu) pro vzduchotechniku, vytápění, ztráty tepla v potrubních rozvodech a na zdroji tepla v kotelně.

Vstupními údaji pro vzduchotechnické výpočty je standardní soubor venkovních teplot vzduchu pro nadmořskou výšku 300 m n. m. Teploty jsou pro každý měsíc (1-12) uvedeny pro jednotlivé hodiny dne (1-24). Dále vzduchový výkon stanovený měřením a reverzním výpočtem.



Vzduchový výkon současně instalované vzduchotechniky byl stanoven měřením průtoku na sacích otvorech pro přívod čerstvého venkovního vzduchu. Byly změřeny rozměry sání pro jednotlivé ventilátory. Měřicí přístroj – lopatkový anemometr elektronickým výstupem. Na

sací ploše tvořené obvykle lamelovým výměníkem byla traverzováním zjištěna průměrná rychlost v sání.

Výpočet spotřeby tepla pro vzduchotechniku – spotřeba tepla pro vzduchotechniku se počítá pro každý měsíc zvlášť. Pro každou hodinu denní doby (1-24) se počítá teplo pro ohřev vzduchu. Výpočet se provádí zvlášť pro pracovní den, sobotu, neděli a svátek. Model umožňuje zavedení útlumu teploty, cirkulace a rekuperace.

Pro stanovení základního parametru stávajícího zařízení – vzduchového výkonu jednotek není k dispozici projektová dokumentace ani pasporty zařízení. Jedná se o jednotky vyrobené v roce 1953. Na ventilátorech nejsou štítkové údaje a v řadě případů ani štítky na elektromotorech.

DOTAČNÍ PROGRAM OPPIK

Rekonstrukce vzduchotechnických zařízení byla navržena jako dotační projekt pro Operační program OPPIK úspory energie IV. Operační program je administrován Ministerstvem průmyslu a obchodu. Pro velké podniky činí dotace 30 % z uznatelných investičních nákladů.

Projekt je charakterizován následujícími parametry:

Úspora energie ZP	4 135	GJ/rok
Investiční náklady	25 044	tis. Kč
Úspora – roční palivové náklady	1 187	tis. Kč
Úspora – emise CO ₂	229	t/rok
Měrné způsobilé náklady	109,3	Kč/kg CO ₂ za rok
Úspora energie proti vých. stavu	49 %	
Měrné náklady na uspořený GJ	6 128	Kč/GJ

Energetický audit 2016, projektová dokumentace 2017, dotační žádost operačního programu OPPIK úspory energie schválena 2018, realizace 2019.

ZÁVĚR

Rekonstrukce historických vzduchotechnických zařízení v halách pro opravy vojenské bojové techniky zahrnuje dílem činnost energetického auditora – průzkumnou činnost, mapování výchozího stavu, zjištění možných úspor energie a zejména – stanovení základní koncepce rozvoje energetického hospodářství celého výrobního areálu. Druhým dílem pak zahrnuje těsnou spolupráci auditora s projektantem vzduchotechnických zařízení. Společně pak stanovili energetické nároky současných vzduchotechnických zařízení – čerstvovzdušných, bez použitelné regulace spotřeby i budoucích – s rekuperací a pokročilou regulací. Projektant vzduchotechniky pak navrhl jak svá vzduchotechnická zařízení, tak koordinoval projektové práce dalších profesí, zejména zdroje tepla. Po ukončení prací na projektové dokumentaci nastoupil opět energetický auditor, který zpracoval energetický posudek a další podklady pro dotační žádost v operačním programu OPPIK. Žádost byla přijata a zařízení bylo uvedeno do provozu v září 2019.

Poděkování – autoři děkují společnosti EXCALIBUR ARMY za svolení se zveřejněním informací o projektu rekonstrukce vzduchotechniky, a zvláště pak jejímu řediteli správy majetku Ing. Michalu Kopečnému a energetikovi Ing. Pavlu Telíškovi, bez jejichž přispění by dílo nevzniklo.

ZAŘÍZENÍ LABORATOŘE TECHNIKY PROSTŘEDÍ VE ZLÍNĚ

Martin Zálešák¹, Stanislav Sehnálek¹, Pavel Drábek¹, Jan Skovajsa¹, Petr Polách²,
Vladimír Venhoda² Petr Polách ml.²

¹Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

²Air Technology, s. r. o., Hodonín

zalesak@utb.cz, jskovajsa@utb.cz, pdrabek@utb.cz, sehnalek@utb.cz,
polach@airtetechnology.cz, venhoda@airtechnology.cz

ÚVOD

Laboratoře techniky prostředí (dále jen Laboratoř) byla realizovaná v rámci programu CEBIA-Tech. Tento projekt byl přijat a schválen MŠMT ČR jako jeden z nosných projektů CEBIA-Tech.

Laboratoř je koncipována jako technické zařízení pro zkoušky technických parametrů (energetické parametry, akustické parametry a funkční zkoušky řídicích technologií) na poli výzkumu a vývoje prvků zařízení techniky prostředí. Jedná se o tepelná a chladicí zařízení v oboru (především o tepelná čerpadla, chladicí jednotky typu split, koncové prvky vzduchotechnických systémů, parametry vzduchových filtrů, ventilátorů, regulačních elementů a řídicích systémů). Zadáním dále bylo, aby laboratoř byla vybudována a zařízena tak, aby mohla být později akreditována, podle existujících legislativních předpisů a platných technických norem ve vybraných oblastech zkušebnictví.

Výstavba laboratoře probíhala ve dvou fázích. V první fázi byla vypracována studie, která byla oponována významnými odborníky z praxe, zkušebnictví a školství. Na základě korigované studie následovala fáze druhá – výstavba Laboratoře obsahující zhotovení realizační dokumentace a samotnou realizaci.

Zakázku na zhotovení Laboratoře ve druhé fázi získala koncem roku 2013 na základě výběrového řízení firma AirTechnology s. r. o., jako generální dodavatel technologie (dále jen GDT).

Laboratoř je možné členit na dílčí samostatné pracoviště.

A/ Kompenzovaná kalorimetrická komora

Základem laboratoře je kompenzovaná kalorimetrická komora s primárním využitím pro zkoušení energetických a akustických parametrů chladicích jednotek, split systémů, tepelných čerpadel a vybraných vytápěcích prvků.

Výhledově je ale možno komoru použít i pro zkoušky tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí se speciálním zaměřením na tepelně akumulční a izolační parametry konstrukcí.

Kompenzovaná kalorimetrická komora je dělená na 2 části s odlišnými klimatickými prostředími označené jako část OUTDOOR(ODO) a INDOOR(IDO), je umístěna v předem připravené klimatizované hale zkušebny, opatřené ručním 5 t pojezdovým jeřábem k přemísťování vzorků zařízení laboratoře a flexibilních částí komory umožňujících přestavby dělící příčky a vestaveb dle typu prováděných zkoušek.

Pro udržování parametrů v kompenzačních prostorech byly zhotoveny 2 speciální klimatizační jednotky ve venkovním provedení se zesílenou izolací, se speciálními dělenými výměníky, speciálními výparníky, el. ohřívači se spojitou regulací a ventilátory s EC motory. V kompenzačních prostorech musí být udržovány stejné parametry teplot, jako v příslušných zkušebních prostorech.

Pro zkušební prostory IDO a ODO byly zhotoveny speciální rekondiční jednotky opět se speciální kombinací dělených výměníků a elektronicky řízené zvlhčovače se speciální distribucí pro udržování teplot vzduchu s přesností $\theta_s \pm 0,1$ K a $\theta_m \pm 0,3$ K. Ventilátory jsou s EC motory a plynulým řízením otáček pro udržování objemového průtoku s přesností ± 1 %.

V komoře IDO je možnost udržování teploty vzduchu v rozmezí $+15$ až $+70$ °C, v komoře ODO je možnost udržovat teploty vzduchu v rozsahu -20 °C až $+35$ °C, v obou komorách nezávisle na sobě. Požadované kombinace udržovaných teplot vzduchu a vlhkostí vzduchu pro různé zkoušky udávají příslušné normy.

Při konfirmaci komor před zahájením zkušebního provozu v 09/2014 bylo dosaženo požadovaných přesností prostorových teplot $\pm 0,1$ K, po cca 4 až 5 hodinovém ustálení provozu komor na testované parametry.

Zdroje chladu a tepla

Jako zdroj chladu pro vodní chladiče kompenzačních a rekondičních jednotek komory je použit chiller s plynule řízeným výkonem pro nabíjení akumulární nádrže nemrznoucí směsi o teplotním spádu $9/3$ °C. Nemrznoucí směs je dále v následných okruzích regulována dle potřeby jednotlivých jednotek. Pro teploty pod bodem mrazu je osazena 1 kondenzační jednotka s digitálním kompresorem typu scroll, s plynulou regulací a pro jednotlivé sekce výparníků u příslušných jednotek jsou instalovány elektronické vstřikovací ventily.

Zdrojem tepla je elektrokotel s akumulárními nádržemi a následnými řízenými směšovacími okruhy.

Požadavek na značnou universálnost použití kalorimetrické kompenzované komory, vedl ke koncepci s flexibilní dělicí, kalibrovanou, víceúčelovou příčkou, mezi prostory ODO a IDO.

V kalorimetrické komoře se plánují a provádějí měření a zkoušky vzorků v následných oblastech:

1. Měření výkonu klimatizačních jednotek, chillerů a tepelných čerpadel vzduch/vzduch, vzduch/voda dle ČSN EN 15411,2-4 do chladicího výkonu 12kW a topného výkonu 16kW
2. Měření distribučních elementů pro rozvody vzduchu, včetně vizualizace proudění
3. Akustická měření v dozvukové komoře u testovaných vzorků ve třídě přesnosti II.
4. Zkoušení výkonů výrobků pro větrání bytů dle ČSN EN 13141
5. Koncová vzduchotechnická zařízení pro větrání budov-ČSN EN 14 277
6. Zkouška elektrotechnických prvků a systémů vlivem změny prostředí v rozsahu $+50$ °C/ -15 °C. Tato je realizována mobilním vložením tzv. šokové komory, včetně lineárního dopravníku mezi IDO a ODO komory.

Kompenzovaná kalorimetrická komora umožňuje také následné oblasti zkoušek:

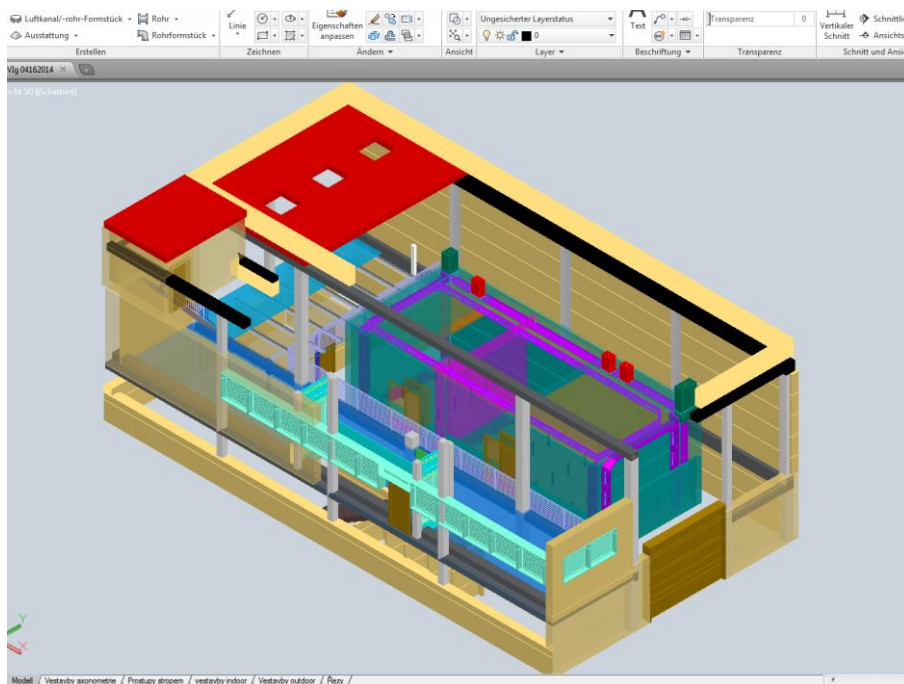
7. Tepelně technické vlastnosti stavebních prvků a materiálů
8. Zkoušky chladících stropů dle ČSN EN 14240, chladících trámů dle ČSN EN 15116, EN 14518
9. Zkoušky prvků otopných soustav dle ČSN EN 442, ČSN EN 14037 a ČSN EN 1264

Konstrukční řešení kalorimetrické komory

Vnější rozměry komory jsou $13,5 \times 6 \times 5$ m. Pro výstavbu komory se z důvodů variability a osvědčených technologií použilo samonosných chladírenských panelů. Tyto panely jsou vhodné také z důvodu požadovaných difúzních parametrů pláště (výrazné omezení kondenzace vodní páry v konstrukci), rozměrové variability, snadné manipulovatelnosti a vhodných

akustických parametrů. Světlá výška podlahy vnitřní komory od podlahy haly je 700 mm, s předpokládanou nosností 350 kg/m². Povrchy konstrukcí vnitřního zkušebního prostoru musí být vzduchotěsné a parotěsné. Prostor pod podlahou je součástí kompenzovaného prostoru a je využit i jako instalační prostor pro přívod a odvod médií a propojovacích kabelů měřicí techniky. V kompenzačním prostoru jsou umístěny speciální vestavby pro rovnoměrné obtékání vnitřních komor proudem vzduchu. Konfirmační zkoušky prokázaly rovnoměrnost teplot v kompenzačních prostorech $\pm 0,5$ K po ustálení chodu.

Umístění a skladba kompenzované kalorimetrické komory v hale ve stádiu projektu ukazuje **obr. č. 1**



Obr. 1 Umístění a skladba komory v hale

Pohled na vnitřní prostor IDO – viz obr. č. 2



Obr. 2 Vnitřní prostor IDO

B/ Akustika

Outdoorovou komoru vybavil dodavatel technologie měření hluku (fa. **ECOLA Group s.r.o.**) speciálními akustickými vestavbami tak, aby v takto upravené komoře bylo možné provádět měření akustického výkonu. To je velmi důležité, neboť výrobce, projektant apod. budou schopni vyvíjet, respektive ověřovat klimatizační jednotky i z hlediska jejich hlučnosti. Musel se proto vypracovat komplexní návrh akustických vlastností komory, které tato měření umožní. Zároveň navrhnout a zprovoznit celou měřicí aparaturu (přístroje, programy) schopné tato měření provádět. V neposlední řadě bylo nutné vypracovat i měřicí postupy.

Při návrhu vybavení kalorimetrické komory, aby v ní bylo možno měřit i akustické parametry, byl projektant akustiky postaven před poměrně obtížný úkol. Obvykle jsou komory pro měření kalorimetrických a akustických parametrů řešeny samostatně. Akustická komora, která je určena pouze pro měření akustického výkonu, je obvykle postavena z betonu, respektive podobně velmi odrazivého materiálu v širokém frekvenčním rozsahu. V případě kalorimetrické komory byly stěny z důvodu měření energetických veličin postaveny s důrazem na tepelně izolační vlastnosti stěn z izolačních panelů, které nemají ideální odrazivost jako například zmíněný beton. V případě implementace dvou funkcí (energetická i akustická měření) do jedné univerzální komory, je nutné s touto skutečností počítat a návrh udělat velmi precizně. To souvisí především s vytvořením dostatečně difuzního pole, ve kterém potom probíhá akustické měření. V komoře musela proběhnout řada měření v souvislosti s instalací difuzních prvků. Tyto prvky zvyšují difuzní pole v prostoru a musí jich být použito optimální množství a nastaveny do správných pozic. Malé množství by nezajistilo potřebnou difuzitu z hlediska akustiky. Větší množství by zase mohlo zvýšit pohltivost v komoře a také bránit umístění měřících mikrofónů. V konkrétním případě se projektant musel vypořádat i s relativně menším objemem komory (v budově je totiž kromě komory i možnost měření na potrubních tratích apod.)

Vybavení přístroji a výpočetními programy od firmy Nordsonic umožňuje provádět v komoře akustická měření, a to jak z hlediska přesnosti, tak z hlediska přívětivého uživatelského rozhraní a v neposlední řadě spolehlivosti. Použité normy viz níže.

ČSN EN ISO 3741 – Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Přesné metody pro dozvukové zkušební místnosti (duben 2011). Tato norma stanovuje požadavky na dozvukovou místnost pro provádění měření akustického výkonu a měření akustické energie zdrojů.

ČSN EN ISO 3743–1 – Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technické metody pro malé přemístitelné zdroje v dozvukovém poli – Část 1: Srovnávací metoda pro zkušební místnosti s tuhými stěnami (duben 2011)

ČSN EN ISO 3743–2 – Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technické metody pro malé přemístitelné zdroje v dozvukovém poli – Část 2: Metody pro speciální dozvukové místnosti (březen 2010).

Obecně jsou požadavky na vlastnosti dozvukových místností uvedeny v ČSN EN ISO 354 – Akustika – Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti (listopad 2003).

Pohled do komory s akustickými úpravami pro měření akustického výkonu **obr. č. 3**



Obr. 3 Pohled do komory s akustickými úpravami pro měření akustického výkonu

C/ Kalibrované ventilátorové měřicí trati

Měřicích ventilátorových tratí jsou čtyři druhy, a to:

1. D = 400mm, tl. materiálu 2 mm (pro měření akustických parametrů – akusticky tvrdá)
2. D = 400mm, tl. materiálu 1 mm
3. D = 200mm, tl. materiálu 2 mm (pro měření akustických parametrů – akusticky tvrdá)
4. D = 200mm, tl. materiálu 1 mm

Na těchto měřicích ventilátorových tratích lze měřit parametry ventilátorů od vzduchových výkonů ventilátorů cca 100 m³/hod do vzduchových výkonů ventilátorů cca 6000 m³/h a tlaku maximálně 1000 Pa, včetně možnosti měření parametrů ventilátorů na multidýzové komoře, popř. na cloně, měření hlukových parametrů ventilátorů a vybraných vzduchotechnických elementů včetně tlumičů hluku pro hranaté a kruhové potrubí dle normy ČSN EN ISO 5136 a ČSN EN ISO 7235 ve třídě přesnosti II. Na těchto měřicích ventilátorových tratích lze také měřit charakteristiku klapek a těsnost klapek, popř. vložené odpory v potrubí.

Ventilátorová trať pro měření charakteristiky ventilátorů je zkonstruována dle normy ČSN EN ISO 5801 a dle této normy bude měření i probíhat. Norma ČSN EN ISO 5801 popisuje měření parametrů ventilátorů jak Prandtlovou dynamickou sondou, tak i multidýzovou komorou. Oba tyto způsoby měření lze na výše uvedených měřicích tratích použít.

Spolu s ventilátorovými tratěmi bylo dodáno zařízení pro měření netěsnosti potrubí typ P.A.N.D.A od firmy AIRFLOW, tímto zařízením se mohou měřit i netěsnosti klapek apod.

Trati umožňují dále svými doplňkovými prvky měření regeneračních výměníků dle ČSN EN 308, výměníků tepla ČSN EN 305, ČSN EN 307. Měření výkonových charakteristik a hluku generovaného distribučními elementy.

Obr. č. 4 ukazuje jednu z měřicích ventilátorových tratí.



Obr. 4 Ventilátorová trať

D/Zkušební tratí pro zkoušení hydraulických prvků v souladu s ČSN EN 60534-2-3, pro stanovení

- Průtokové charakteristiky C
- Součinitele regenerace tlaku samotné regulační armatury F_L
- Součinitele tvaru potrubí F_P
- Součinitele typu armatury F_D
- Součinitele vlivu Reynoldsova čísla F_R

Pro měření průtokových charakteristik je využit samostatný měřicí stůl, který je vybaven zásobní nádrží, čerpadlem a soustavou regulačních armatur pro dosažení požadovaných hodnot pro měření v souladu s normou ČSN EN 60534-2-3 a návazných.

Je zde možné proměřovat charakteristiky jak jednocestných, tak třícestných ventilů o dimenzích DN10 – DN100. Pro zjednodušení měření je využit přesný ultrazvukový průtokoměr (výhodou tohoto typu měření je neinvazivní měření a tím nulové ovlivnění proudění měřeného průtoku).

Obr. č. 5 ukazuje měřicích trať hydraulických prvků, včetně řídicího panelu



Obr. 5 Hydraulická trať

E/ Zkoušení chladicích stropů a trámů

Ve vnitřní části kalorimetrické komory je instalován systém pro měření chladicích trámů a stropů. Zkoušky se provádí dle normy ČSN EN 14240 Větrání budov – Chladicí kryty – Zkoušení a hodnocení. Pro eliminaci tepelných ztrát do okolí a dosažení ustálených podmínek je využito kompenzovaného prostoru. Pro simulaci tepelné zátěže jsou použity elektricky vytápěné simulační figuríny s možností regulace (viz obr. 2)

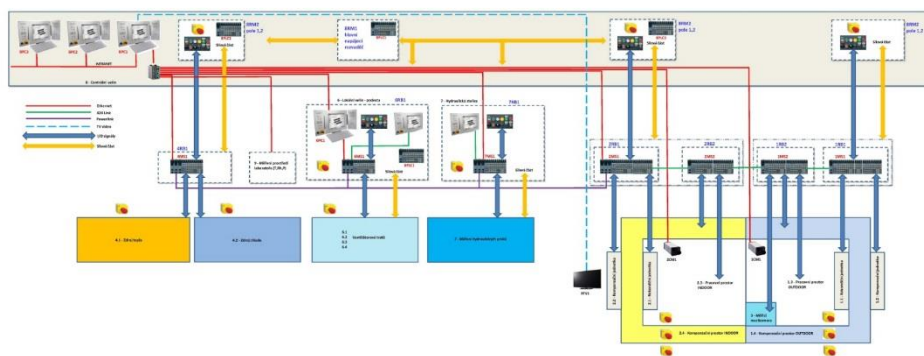
F/ Řídicí systém zkušebny

Vzhledem k požadavkům na univerzálnost a další možnosti rozšiřování, byl pro řídicí a měřicí procesy vybrán volně programovatelný modulárně rozšiřitelný systém.

Systém je rozdělen do několika skupin a podskupin podle technologie:

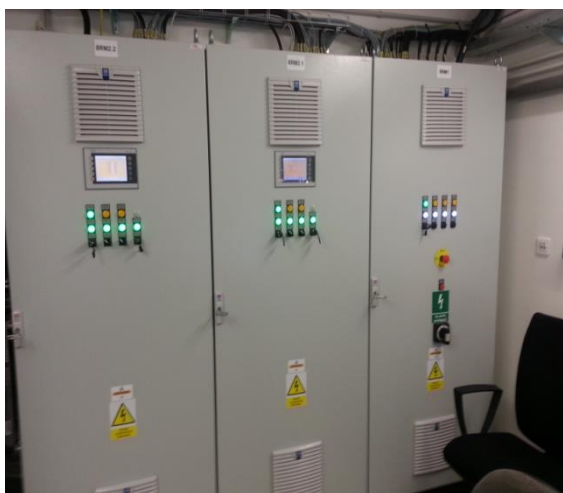
- Kalorimetrická komora
- Kalibrovaná ventilátorová měřicí trať
- Zkušební trať pro zkoušení hydraulických prvků
- Řízení zdrojů technologických médií a pomocných technologií

Blokové schéma celého řídicího systému je na následujícím obrázku **č. 6:**

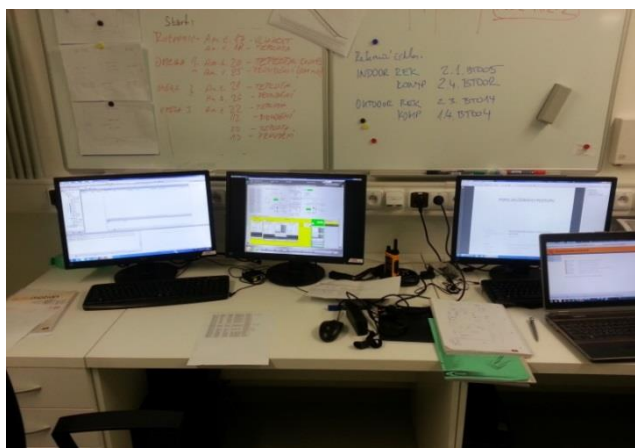


Obr. 6

Všechny systémy a podsystémy jsou navzájem propojeny některým z komunikačních rozhraní, jako např. Ethernet, bezdrátový Ethernet, Powerlink, X2X link. Podsystémy jsou instalovány vždy v blízkosti řízené technologie nebo měřicího procesu. Ovládání technologií, jejich vizualizace, sběr měřených dat a jejich další zpracování je prováděno pomocí několika stolních PC, instalovaných v hlavním velině laboratoře viz **obr. č. 7, obr. č. 8:**



Obr. 7 Velín laboratoře



Obr. 8 Řídící stanice

Celý řídicí a měřicí systém zkušebny zpracovává 1200 datových bodů. Pro vlastní měření a vyhodnocování procesů bylo dodáno 215 analogových čidel a senzorů. Měřicí senzory jsou v provedení ve vysoké přesnosti měření a vynikající reprodukovatelnosti. Měří se tyto fyzikální veličiny:

- Teplota
- Relativní vlhkost
- Psychrometrické veličiny
- Tlak
- Diferenční tlak
- Proudění
- Průtok
- Délka
- Hladina
- Otáčky

- Elektrické veličiny-proud, napětí, výkon...

Na obrázcích č. 9 a č. 10 jsou jako příklad zobrazeny jednotlivé realizované měřicí pracoviště laboratoře.



Obr. 9 Část řídicích systémů ventilátorových tratí



Obr. 10 Část řídicích systémů kalorimetrické komory

E/ Klimatizační skříně

Pro veterometrické zkoušky jsou určeny dvě klimatizované skříně umožňující tvorbu mikroklimatu v širokém rozsahu teploty vzduchu a relativní vlhkosti.

Pohled na skříně je na obr. č. 11



Obr. 11 Klimatizační skříně

F/Mobilní zařízení

Laboratoř disponuje také mobilním měřícím zařízením, které je možné využít i v terénu.

Jedná se především o tyto přístroje:

- AirFlow P.A.N.D.A k testování netěsnosti vzduchotechnického potrubí;

- zařízení ProHood PH731 pro měření množství přiváděného či odváděného vzduchu vzduchotechnických vyústek;
- měřicí ústředny ALMEMO s čidly pro měření teploty, vlhkosti, tlaku, tepelného toku, rychlosti proudění plynů, intenzity osvětlení, teploty chromatičnosti a koncentrací škodlivin;
- spektrometr UPRtek MK350S pro měření spektrálního složení světelného záření;
- termokamery FLUKE k analýze rozložení teplot stavebních konstrukcí a zařízení techniky prostředí;
- kalibrační lázeň LAUDA ke kalibraci teplotních snímačů s přesností 0,02 K pro rozsah teplot -50 až 120 °C;
- zvukoměr Norsonic Nor131;
- vizualizace proudění pomocí SAGE generátoru heliových bublin nebo pomocí kouřové zkoušky a laserů;
- ultrazvukové zařízení pro měření průtoku SITRANS F;
- zařízení pro stroboskopické měření otáček

Pohled na soustavu mobilního měřicího zařízení je uveden na obr. 12



Obr. 12 Sestava mobilního měřicího zařízení

G/ Dotčené ČSN

Seznam dotčených norem ve znění posledních předpisů:

ČSN EN 14 511 Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru. kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru.

ČSN EN 15 116 Větrání budov – Chladicí trámce – Zkušební a hodnocení aktivních chladicích trámců.

ČSN EN 14 518 Větrání budov – Chladicí trémie – Zkoušení a hodnocení pasivních chladicích trémů.

ČSN EN ISO 3741 Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Přesné metody pro dozvukové místnosti.

ČSN EN ISO 5135 Akustika – Určování hladin akustického výkonu vyzařovaného do potrubí ventilátory a jinými zařízeními s prouděním vzduchu – Metoda měření v potrubí.

ČSN EN ISO 11820 Akustika – Měření tlumičů in situ

ČSN EN ISO 3382 Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky (doba dozvuku)

ČSN EN ISO 7235 Akustika – Laboratorní měřicí postupy pro tlumiče hluku v potrubí a vzduchotechnické koncové jednotky – vložený útlum, vlastní hluk a celková tlaková ztráta

ČSN EN 12 102 Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla a odvlhčovače s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Měření hluku přenášeného vzduchem – Stanovení hladiny akustického výkonu.

ČSN EN 14 825 Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a klasifikace za podmínek částečného zatížení a výpočet při sezonním nasazení.

ČSN ISO 3966 Měření průtoku tekutin v uzavřených profilech – Metoda měření rychlostního pole pomocí Prandtlových trubic.

ČSN EN ISO 5801 Průmyslové ventilátory – Zkoušení výkonu s použitím normalizovaného vzduchovodu.

ČSN EN 12 3061 Vzduchotechnika. Ventilátory. Předpisy pro měření.

ČSN EN 1751 Větrání budov – Koncová vzduchotechnická zařízení – Aerodynamické zkoušky klapek a ventilů.

ČSN EN ISO 5167-1 Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu.

ČSN EN 60 534-2-3 Regulační armatury pro průmyslové procesy.

ČSN 36 0011 Měření osvětlení prostorů.

ČSN EN 12 464-1. Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů: Část 1: Vnitřní pracovní prostory.

ČSN EN 60 068 – Zkoušky vlivu prostředí.

Tato práce byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu Národního programu udržitelnosti č. LO1303 (MSMT 7778/2014) a Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci projektu CEBIA-Tech č. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 a také interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně č. IGA/CebiaTech/2019/001.

VÝVOJ FASÁDNÍ TERMoeLEKTRICKÉ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY PRO AUTONOMNÍ MODUL LEHKÉHO OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ

Vojtěch Zavřel^{1,2}, Tomáš Matuška¹, Vladimír Zmrhal^{1,2}, Petr Slanina³

¹Univerzitní Centrum Energeticky Efektivních Budov, ČVUT v Praze

²Ústav Techniky Prostředí, Fakulta Strojní, ČVUT v Praze

³Skanska a.s., Česká republika, Oblast lehkých obvodových plášťů

ANOTACE

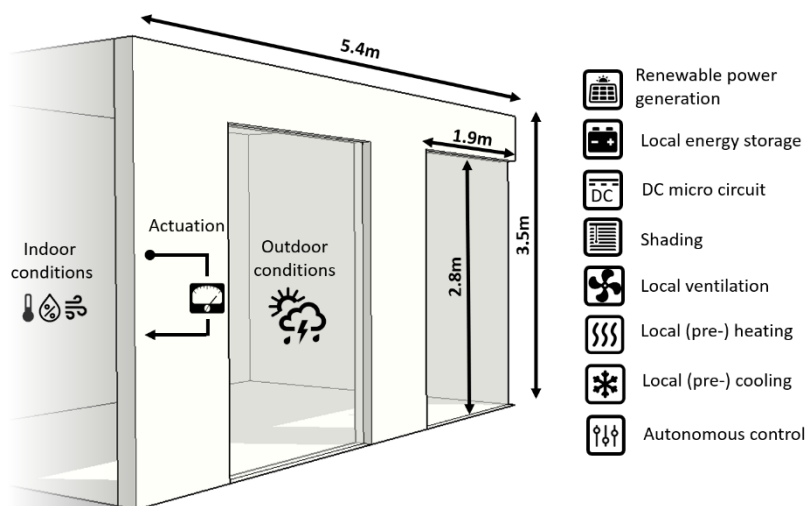
Příspěvek představuje inovativní koncept pro energeticky soběstačný lehký obvodový plášť integrující funkce vytápění, klimatizace, větrání, stínění kombinovaný s lokální výrobou a ukládáním elektrické energie. Vyvíjený fasádní modul bude vybaven pokročilým řízením, které bude koordinovat provoz všech funkcí. Aktivní fasádní modul bude schopný se autonomně adaptovat na aktuální situaci a zohlednit vnější a vnitřní vlivy lokálně pro daný modul. Hlavním tématem příspěvku je vývoj termoelektrické klimatizační jednotky integrovatelné do systému lehkého obvodového pláště. Prezentována je především zkušební jednotka s jedním termoelektrickým článkem pro ověření energetického chování nově vyvíjené technologie. Na základě měření jsou diskutovány doporučení pro návrh funkčního vzorku s nominálním chladicím výkonem 640 W, který má za úkol obsloužit typickou kancelář o podlahové ploše 22 m². Článek se především zabývá charakteristikou energetické účinnosti pro částečné zatížení inovativní chladicí jednotky. Studován je také vliv teplotního rozdílu uvažované na vnější a vnitřní straně fasády. Tyto charakteristiky jsou zjištěny experimentálním měření.

ÚVOD

Snížení energetické náročnosti budov vyžaduje nová a alternativní řešení pro zajištění udržitelnosti v tomto sektoru. Jedním z alternativních směrů, kterým se současný výzkum ubírá je obálka budov s adaptivními tepelně-technickými vlastnostmi. Záměrem prezentovaného výzkumu je vyvinout fasádní systém, který bude schopný aktivně reagovat na vnější i vnitřní podmínky a tím dosáhnout jak vyšší energetické efektivity, tak dosažení vysoké úrovně tepelného komfortu. Pro dosažení adaptivního chování obálky budov bylo již zkoumáno několik různých koncepcí na základě mechanických, elektrických, tepelných nebo chemických principů, avšak žádná z těchto koncepcí nedosáhla potřebné úrovně vývoje pro širší uplatnění v praxi [1],[2],[3]. Ačkoliv teoreticky koncept adaptivní obálky budov, která by byla schopna se přizpůsobit okolním vlivům, nabízí nespočet výhod, implementace těchto systémů je stále problematická. Proto hlavním cílem současného výzkumu je vývoj prefabrikovaného adaptivního fasádního modulu, který bude ekonomicky konkurence schopný se současnými fasádními systémy. Pro dosažení tohoto cíle ČVUT úzce spolupracuje s průmyslovým partnerem Skanska a.s.

Naší koncepcí je využít kombinace již dostupných technologií pro vytápění, chlazení, větrání, stínění, které však umožňují integraci do běžného modulu lehkého obvodového pláště. Zejména pro účely ohřevu a chlazení přiváděného vzduchu do místnosti se uvažuje využití termoelektrických článků s minimálními prostorovými nároky. V této koncepci se také počítá s tím, že všechny integrované energetické systémy budou napájené fotovoltaickými panely s bateriovým úložištěm umístěné na povrchu fasády. Všechny tyto systémy budou propojeny do lokálního stejnosměrného obvodu s autonomním řízením všech nových funkcí fasádního modulu. Integrované energetické systémy budou řízeny v závislosti lokálních vnějších a vnitřních podmínek pro každý fasádní modul. Takto vybavený modul má zajistit optimální energetické

chování obálky budovy s ohledem na tepelný komfort, a to s vysokou mírou autonomie. Zatímco decentralizovaná úprava přívodního vzduchu má zajistit individuální potřeby souvisejícího pracovního nebo obytného prostoru, lokální fotovoltaický systém má za účel zvýšit podíl energie z obnovitelných zdrojů. Celková koncepce je ilustrována obr. 1, který také zobrazuje malou kancelář definovanou pro účely případové studie. Konečným cílem tohoto výzkumu je vyrobit a testovat prototyp multifunkčního fasádního modulu a vyhodnotit jeho energetické chování v reálných podmínkách. Tento příspěvek se dále věnuje jedné z komponent tohoto modulu, a to vývojem integrované vzduchotechnické jednotky a experimentálním vyhodnocením její energetické účinnosti.



Obr. 1 Integrované funkce integrované do modulu lehkého obvodového pláště

VÝVOJ INTEGROVANÉ VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY

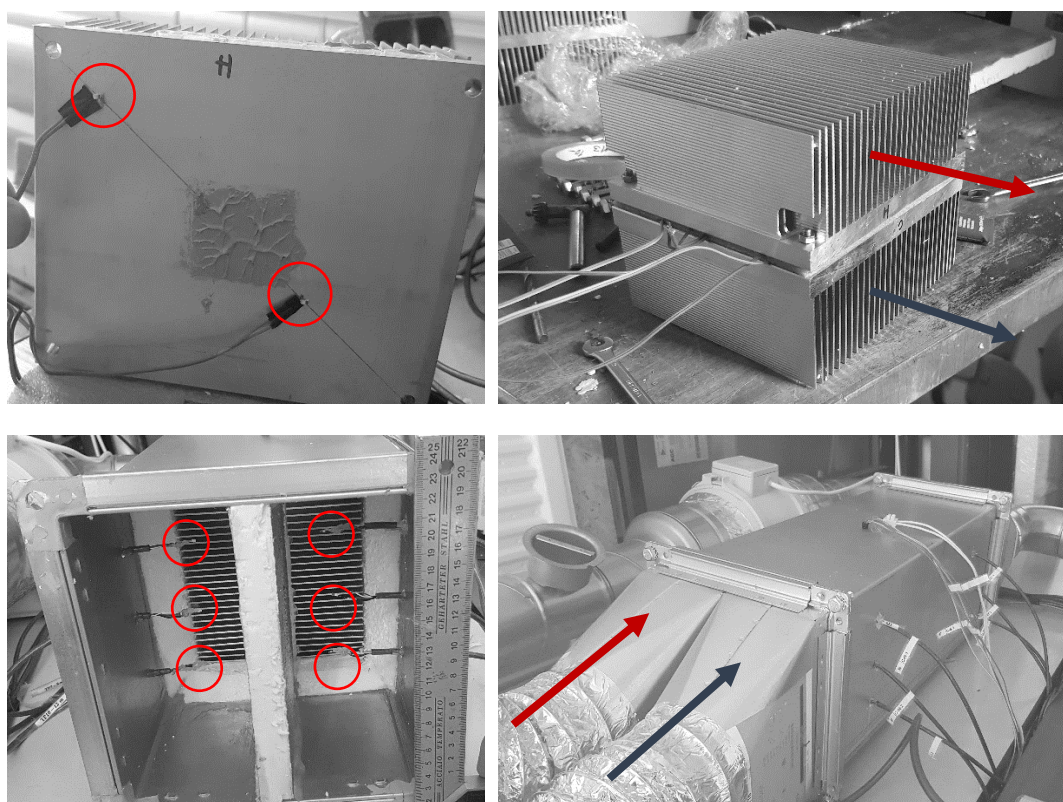
Navrhované technologie pro ohřev a chlazení vzduchu musí být dostatečně kompaktní, aby bylo možné je integrovat do velice limitovaného prostoru uvnitř lehkého obvodového pláště. Umístění tradiční řešení na základě chladivového okruhu do takového prostoru je velice problematické. Navíc u těchto systémů hrozí únik chladiva do konstrukce, obtížný servis mechanických součástí a v neposlední řadě zvýšené hladina hluku.

Termoelektrické články fungující na Peltierově principu [4] nabízí alternativní způsob úpravy vzduchu. Relativně nízkou energetickou účinnost, která je jejich hlavní nevýhodou, vynahrazují několika přednostmi a to (i) minimální rozměry (ii) konstrukce bez pohyblivých komponent, (iii) spolehlivý provoz bez rizika úniku chladiva, (iv) dlouhá životnost termočlánku s minimálními požadavky na údržbu, (v) univerzální použití pro účely vytápění a chlazení pouze změnou toku el. proudu [5],[6].

Vývoj termoelektrické vzduchotechnické jednotky lze rozdělit do tří kroků (i) vývoj jednočlánekové zkušební jednotky pro verifikace energetického chování, který je prezentován v příspěvku, (ii) vývoj funkčního vzorku, kde jsou technologie integrované do malého fasádního panelu pro ověření proveditelnosti a (iii) vývoj finálního multifunkčního fasádního panelu v reálném měřítku obsahující všechny představené komponenty.

Konstrukce zkušební jednotky je limitována rozměry 0.2 x 0.2 m představující prostor v dutině fasády. Jednotka se skládá z vysoko-výkonnostního termoelektrického článku (TE Technology, HP-199-1.4-0.8) a dvou výměníků tepla (SK623, Fisher Elektronik). Tato sestava je následně uzavřena do polystyrenového pouzdra a vložena do vzduchotechnického potrubí představující

dutinu fasády a tento prostor je rozdělen izolací na dva kanály. Do těchto kanálů je přiváděn vzduch reprezentující vnitřní a vnější prostředí. Vzduch je do kanálů přiváděn dvojicí potrubních ventilátorů (Elektrodesign TD500/160). Konstrukce jednotky je ilustrována



Obr. 2 Fotografie zkušební jednotky pro měření energetického chování.

Experimentální zařízení je vybaveno měřením teploty okolí, teploty na vstupu a výstupu jednotky, měření povrchových teplot uvnitř jednotky, měření průtoku vzduchu za použití clonkové trati a měření příkonu, tak aby bylo možné vyhodnotit energetické chování zkušební jednotky.

POPIS EXPERIMENTU

Cílem experimentu je zjistit energetickou výkonost termoelektrického chlazení, resp. topení jedno-článekové zkušební jednotky, jakožto výchozí bod pro následný vývoj jednotky v plném měřítku. Experiment byl proveden pro různé okrajové podmínky, tak aby mohl být posouzen jejich vliv na energetickou účinnost. Čtyři experimenty jsou prezentovány v tomto příspěvku a jsou shrnuty v tab. 1. Pro každý experiment jsou okrajové podmínky reprezentovány vstupní teplotou a nastavením průtoku vzduchu do kanálů.

Každý experiment je proveden pro konstantní okrajové podmínky a pro celý provozní rozsah termoelektrického článku, které je stanoven na základě nastavení proudu v rozmezí 0 až 8 A. Nastavení proudu bylo měněno po ustálení přibližně každých 20 minut s krokem 2 A. Referenční experiment uvažuje stejnou teplotu 27 °C na vstupu do obou kanálů a návrhový průtok stanovený na základě jmenovitého chladicího a topného výkonu článku, tj. 40 m³ h⁻¹ pro tzv. chladnou stranu a 80 m³ h⁻¹ pro tzv. teplou stranu článku. První experiment se zaměřuje na vliv zvýšené teploty na obou stranách článků. Druhý experiment zase na vliv rozdílu teplot na

vstupu do kanálu, kdy byl nastaven teplotní rozdíl 5 K. Třetí experiment studuje vliv snížení průtoku vzduchu na 30 a 60 m³ h⁻¹.

Tab. 1 Shrnutí prezentovaných experimentů.

Id	Chladný kanál (CC)		Teplý kanál (HC)		zatížení I (A)
	t _{in,c} (C°)	V _c (m ³ h ⁻¹)	t _{in,h} (C°)	V _h (m ³ h ⁻¹)	
Ref	27	40	27	80	{0;2;4;6;8}
Exp. 1	30	40	30	80	{0;2;4;6;8}
Exp. 2	27	40	32	80	{0;2;4;6;8}
Exp. 3	27	30	27	60	{0;2;4;6;8}

VÝSLEDKY

Výkonost zkušební jednotky je indikován na obr. 3, přičemž je zavedena konvence, že záporné hodnoty se vážou k odebírání tepla termočlánkem na chladné straně a kladné hodnoty k produkci tepla článkem na teplé straně. První charakteristika ukazuje rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem pro obě strany článku v závislosti na nastavení el. proudu. Druhá charakteristika pak chladicí a topný faktor (značen pro zjednodušení jednotně COP) v závislosti na nastavení el. proudu. Poslední je topný a chladicí výkon v závislosti na el. příkonu. Jelikož měření ustáleného stavu ovlivňuje řada okolních vlivů (např. fluktuace okolní teploty atd.), které nelze plně kontrolovat, tato nejistota je v grafech naznačena chybovými úsečkami.

Maximální teplotní rozdíl dosažený jedním článkem, který lze vyčíst z (obr. 3a), je v rozmezí 2,1 až 2,5 °C na chladné straně a 2,8 až 3,8 °C na teplé straně pro daný experiment. Rozdíl teplot graduálně stoupá se zvyšováním el. proudu. Dle předpokladu, snížením průtoku vzduchu (exp.:3) dojde ke znatelnému zvýšení teplotního rozdílu mezi vstupem a výstupem do zkušební jednotky. Naopak, zvýšením rozdílu vstupních teplot o 5K (exp.:2) se rozdíl teplot na vstupu a výstupu zkušební jednotky sníží.

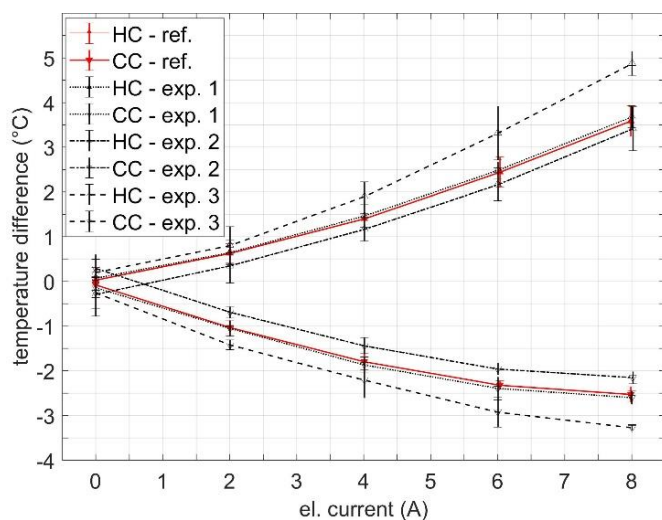
Obr. 3b ukazuje charakteristiku energetické účinnosti pro částečné zatížení článku. Je zřejmé, že navýšením zatížení, energetická účinnost klesá. Například pro referenční příklad je tento pokles z 2,5 (-) do 0,35 (-) pro chlazení a 3,25 do 1,12 (-) pro vytápění. Tento trend je téměř shodný pro všechny experimenty, kromě exp.:2. Z této charakteristiky je také patrný značný vliv rozdílu vstupních teplot. U tohoto případu lze pozorovat průměrné snížení účinnosti přibližně o 24 %,

Obdobně je vliv rozdílu vstupních teplot patrný i v charakteristice na obr. 3c., která ukazuje tepelný a elektrický výkon. Z tohoto obrázku je možné také vyčíst maximální tepelné výkony dodané jedním článkem. Pro referenční případ lze vyčíst chladicí výkon 33 W a topný výkon 96 W, které odpovídají elektrickému výkonu 86 W.

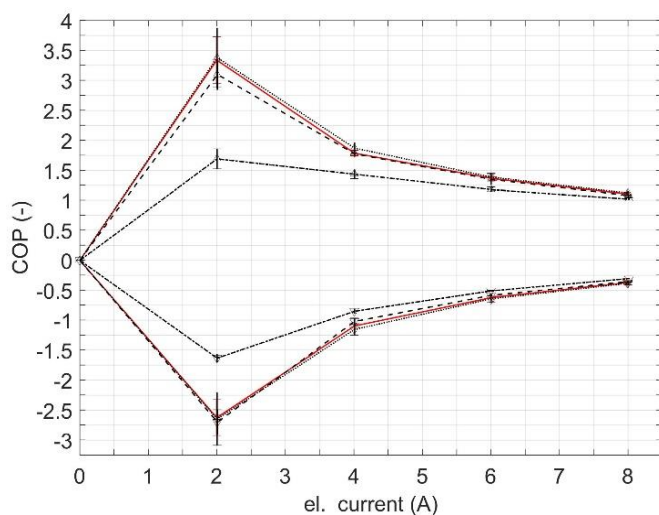
DISKUZE

Výsledné charakteristiky potvrdili výraznou citlivost výkonosti zkušební jednotky na rozdílné vstupní teploty. Pro budoucí návrh jednotky, která bude integrována ve fasádě a bude vystavena rozdílným teplotám exteriéru a interiéru lze doporučit uvažovat rezervu výkonu 25 % až 30 %. Vzhledem k podstatně nižšímu chladicímu výkonu oproti topnému výkonu bude třeba finální jednotku dimenzovat především na letní extrém.

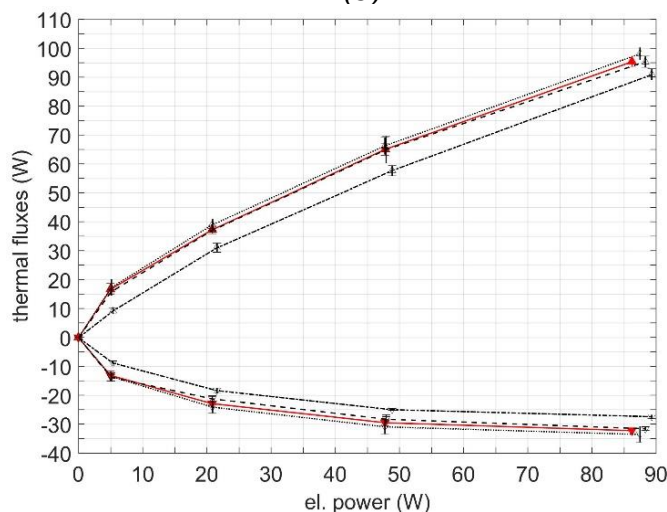
Pro žádaný chladicí výkon 640 W, který je navýšen o uvedenou výkonnostní rezervu bude potřeba 22 až 26 termoelektrických článků TE Technology, HP-199-1.4-0.8. Dále lze doporučit víceřadé zapojení do 2 až 3 řad pro zvýšení teplotního rozdílu na vstupu a výstupu. Při použití vyššího počtu řad se dosáhne teplotního rozdílu, při kterém je zvýšené riziko nežádoucí



(a)



(b)



(c)

Obr. 3 Energetická charakteristika zkušební jednotky (a) rozdíl teplot v závislosti na zatížení (b) COP v závislosti na zatížení (c) tepelné výkony v závislosti na příkonu

kondenzace na povrchu výměníku a úniku kondenzátu do fasády. Toto riziko bude minimalizováno jak konstrukčně, tak proti-kondenzační ochranou v rámci autonomního řízení, která zajistí případné snížení chladicího výkonu.

Obecně výkon termoelektrického článku je relativně dobře říditelný. Na základě měření lze doporučit udržovat termočlánky ve střední úrovni provozního rozsahu s napájením mezi 4 až 6 A, kde byl pozorován dobrý poměr mezi účinností a výkonností článku. Takto navržená jednotky by měla návrhový příkon 2,2 kW, avšak provozní příkon při uvažování doporučeného provozního zatížení by se měl běžně pohybovat okolo 1,3 kW

Také lze uvažovat o integrovaném řízení jednotky a stínícího zařízení tak aby bylo umožněno snížit žádaný výkon a tím i energetickou náročnost úpravy vzduchu. Optimalizace potřeby tepla na chlazení bude důležitým faktorem pro zajištění autonomního chodu s plným napájením z místního fotovoltaického systému. Tímto způsobem bude možné zmenšit rozměry celého zařízení při použití menšího počtu článků. Studium vlivu integrovaného řízení jednotky a stínícího zařízení je jedním z témat pro budoucí výzkum.

ZÁVĚR

Tento článek představil koncept autonomního fasádního modulu s integrovanou vzduchotechnickou jednotkou, stíněním a s fotovoltaickými panely s bateriovým úložištěm umístěné na povrchu fasády. Aby bylo možné umístit kompaktní vzduchotechnickou jednotku do konstrukce lehkého obvodového pláště, bylo zapotřebí využít alternativní technologie, v tomto případě technologie termoelektrických článků.

Vzhledem k novosti řešení bylo studováno energetické chování nejdříve na zkušební jednotce s jedním termoelektrickým článkem. Na základě

měření byly stanoveny provozní charakteristiky, které slouží jako podklad k následujícímu vývoji jednotky v plném měřítku. Účinnost termoelektrické úpravy vzduchu byla pozorována v rozmezí 2,5 (-) do 0,35 (-) pro chlazení a 3,25 do 1,12 (-) pro vytápění. Z měření vyplívá významný vliv na rozdíl teplot na vstupu do tzv. studeného a teplého kanálu. Tento teplotní rozdíl může zapříčinit snížení účinnosti přibližně o 24 %. Tento pokles účinnosti je třeba zohlednit v budoucím návrhu.

Testování na zkušební jednotce poskytlo užitečné informace pro další vývojový krok, kterým je vývoj vzduchotechnické jednotky v plném měřítku. Tato jednotka bude již plně integrovatelná do konstrukčního systému lehkých obvodových plášťů. Tato fáze bude ukončena představením funkčního vzorku, kdy bude jednotka v plném měřítku integrována do malého panelu reprezentující lehký obvodový plášť.

LITERATURA

- [1] R. C. G. M. Loonen, F. Favoino, J. L. M. Hensen, and M. Overend, “Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades,” *J. J. Build. Perform. Simul.*, vol. 10, no. 2, pp. 1940–1493, 2017.
- [2] T. Frank, “Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland,” *Energy Build.*, vol. 37, no. 11, pp. 1175–1185, Nov. 2005.
- [3] S. Domínguez, J. J. Sendra, A. L. León, and P. M. Esquivias, “Towards energy demand reduction in social housing buildings: Envelope system optimization strategies,” in *Energies*, 2012, vol. 5, no. 7, pp. 2263–2287.
- [4] S. Lineykin and S. Ben-Yaakov, “Modeling and Analysis of Thermoelectric Module.”
- [5] C. Martín-Gómez, M. Ibáñez-Puy, J. Bermejo-Busto, J. A. S. Fernández, J. C. Ramos, and A. Rivas, “Thermoelectric cooling heating unit prototype,” *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 37, no. 4, pp. 431–449, 2016.
- [6] Z. Liu, L. Zhang, G. Gong, H. Li, and G. Tang, “Review of solar thermoelectric cooling technologies for use in zero energy buildings,” *Energy Build.*, vol. 102, pp. 207–216, 2015.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce je sponzorována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci národního programu udržitelnosti program I, projekt č. LO1605 a Technologickou Agenturou České republiky v rámci projektu TH03020341 – Autonomní fasádní modul

ROVNOTLAKÉ ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ A MOŽNOSTI REALIZACE VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ V OBYTNÝCH BUDOVÁCH A POBYTOVÝCH PROSTORÁCH

Ing. Zdeněk Zikán

ATREA s. r. o.

zdenek.zikan@atrea.cz

ANOTACE

Příspěvek se týká možnosti realizace větracích centrálních nebo decentrálních systémů ve stávajících bytových panelových nebo zděných domech. Hodnotí jejich klady i zápory a posuzuje možnosti skutečné realizace ve stávajících stoupačkách. Příspěvek hodnotí také roční spotřeby energií a náklady na provoz systému ve variantách bez rekuperace nebo s rekuperací. Část příspěvku popisuje možnosti chlazení u větracích systémů.

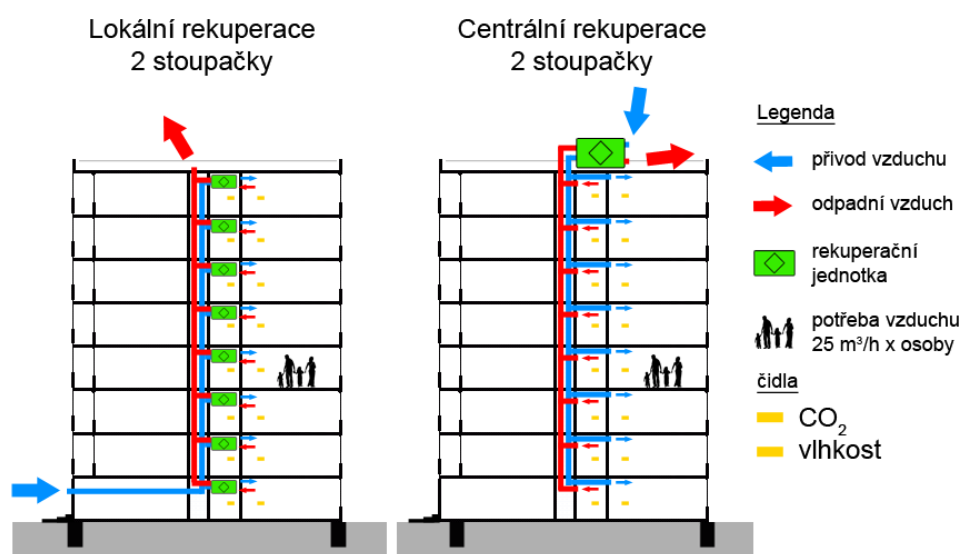
ÚVOD

V současné době se při výstavbě a rekonstrukcích objektů dostává do popředí požadavek na zajištění dobrého větrání těchto objektů. Stále častěji se objevují realizace nejrůznějších systémů řízeného větrání jak pro rodinné domy, tak i pro bytové domy.

Systémy větrání bytů v bytových domech se rozdělují na dvě hlavní skupiny, a to na systémy bez rekuperace tepla a systémy s rekuperací tepla. Do systémů bez rekuperace tepla patří všechny systémy větrající pomocí otevírání oken či všechny podtlakové systémy zajišťující pouze odvod vzduchu z bytů a zajišťující přívody vzduchu prostřednictvím individuálních otvorů nebo štěrbin, ať v oknech či zdech domu. Nevýhodou těchto systémů, kromě nevýhody úspory energie, je v mnoha případech nedokonalá těsnost uzavírání těchto otvorů a tím při velkém množství těchto otvorů (v každé místnosti by měl být aspoň jeden) porušení vzduchotěsnosti objektu v době, kdy není potřeba větrat, což sebou nese zbytečné ztráty energie. Systémy s rekuperací tepla pro bytové domy (neuvažují se rodinné domy) se rozdělují na dva základní systémy nuceného větrání s rekuperací tepla.

A – Systém decentrálního větrání

B – Systém centrálního větrání

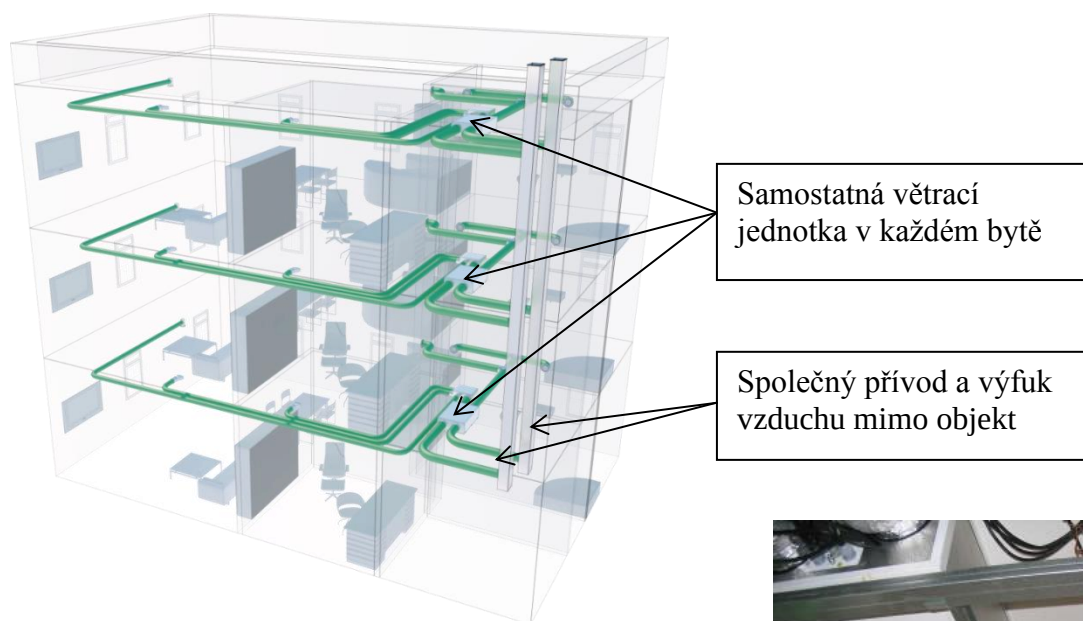


Obr. 1 Rozdíl mezi decentrálním větráním a centrálním větráním bytového domu

Systém decentralního větrání

Systémy decentralního větrání se navrhují pomocí individuálních větracích jednotek s rekuperací tepla, které jsou umístěny v každém bytě, např. na toaletě nebo v pomocné komoře apod. Obvykle se navrhuje společný přívod a odvod vzduchu mimo objekt a dále individuální rozvody vzduchu po bytě. Odvod vzduchu je z koupelen, záchodů, kuchyní, šaten apod. Přívod vzduchu je pak do obývacích prostor, ložnic, dětských pokojů. Rozvody vzduchu se navrhují zpravidla pod stropem, zejména v rekonstruovaných bytech. V novostavbách mohou být případně rozvody vzduchu zabudovány do podlah. Výhodou tohoto systému je, že každý uživatel si svojí jednotkou zajišťuje větrání na základě potřeb větrání v bytě. Nevýhodou tohoto systému je, že se uživatel musí starat o jednotku, která je v jeho vlastnictví, a také se musí starat o výměnu filtrů v jednotce. Druhou nevýhodou tohoto systému, při napojení na společné přívodní a odvodní potrubí pak je, že tato potrubí musí být tepelně izolované v rámci stoupaček a přívodů k jednotkám, protože potrubím probíhá v zimním období studený vzduch a toto může způsobovat kondenzaci vlhkosti na potrubí.

Větrací jednotka v každém bytě zajišťuje větrání bytu pomocí ovladače, a to především prostřednictvím různých týdenních programů. Tím se zajišťuje tzv. trvalé základní provětrávání bytů tak, jak požaduje norma. Řízení a ovládání jednotky mohou ovlivňovat také externí vstupy nebo čidla kvality vzduchu, čidla CO₂ nebo vlhkostní čidla. Externí vstupy, což mohou být např. vypínače světla na záchodech, koupelnách, zajišťují tzv. nárazové provětrávání a způsobují zvýšení větracího výkonu jednotky po určitou dobu. Čidla pak způsobují zvýšení větracího výkonu jednotky do doby, než např. poklesne vlhkost, nebo koncentrace škodlivin v prostoru. Některé jednotky pak nabízí komfort v připojení na internet a tím možnosti ovládání nebo sledování např. v mobilní aplikaci nebo v osobním počítači.



Obr. 2 Schéma domu s decentralním větráním a příklad jednotky před jejím zakrytím sádkkartonem, zajišťující individuální větrání bytu

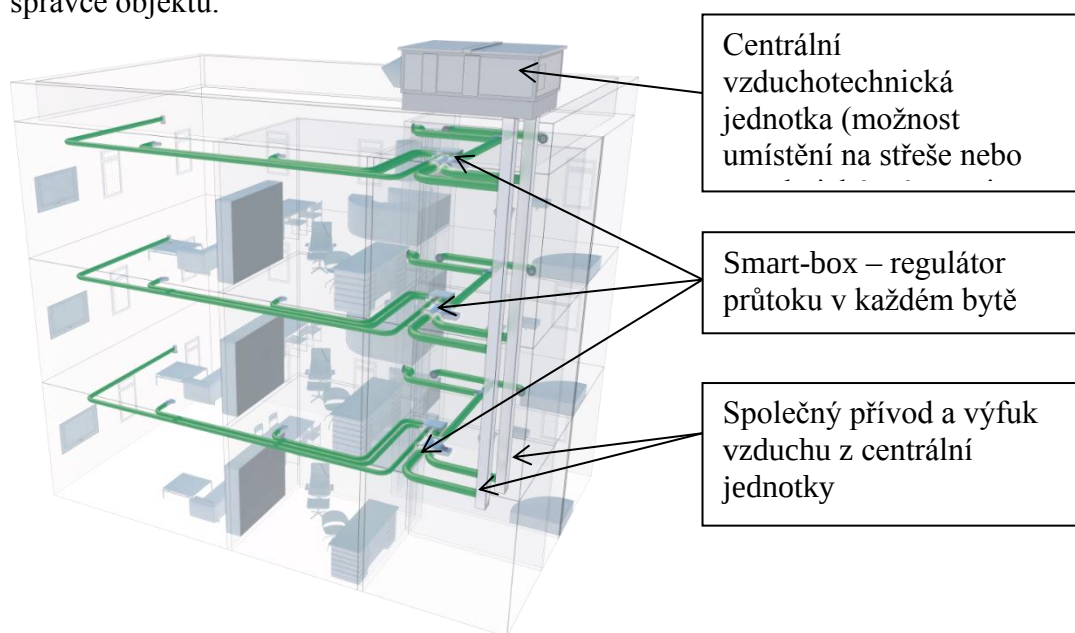


Systém centrálního větrání

Systém centrálního větrání bytového domu se navrhuje pomocí jedné nebo několika samostatných jednotek, které jsou umístěny na střeše objektu nebo

v technických prostorách objektu a které zajišťují společné provětrávání bytů, jež jsou obvykle na stejné stoupačce. Aby se zajistilo individuální provětrávání jednotlivých bytů na stoupačce, dle okamžitých požadavků jednotlivých bytů, je na vstupu a výstupu do každého bytu osazen Smart-box – regulátor průtoku. Dále se navrhují rozvody vzduchu po bytě obdobně jako při instalaci samostatných větracích jednotek. Odvod vzduchu je z koupelen, záchodů, kuchyní, šaten atd. Přívod vzduchu do obývacích prostor, ložnic, dětských pokojů.

Smart-box – regulátor průtoku nastavuje požadovaný výkon větrání bytu, obdobně jako u samostatných větracích jednotek, pomocí ovladače, externích vstupů nebo čidel kvality vzduchu, čidel CO₂ či vlhkostního čidla. Jednotlivé Smart-boxy pak na základě individuálních požadavků z bytů zajistí nastavení optimálního výkonu společné větrací jednotky. Každý byt je řízen a tím větrán individuálně, stejně jako pomocí samostatné jednotky. Nevyžaduje se tak individuální údržba jednotky uživatelem a o celkovou společnou údržbu se pak obvykle stará správce objektu.



Obr. 3 Schéma domu s centrálním větráním a Smart-boxy v jednotlivých bytech



Obr. 4 Příklad centrální jednotky pro vnitřní osazení, Smart-box – regulátoru průtoku a principiální propojení jednotky a Smart-boxů

Systémy centrálního větrání dnes zajišťují individuální provětrávání bytů přesně dle požadavků jednotlivých uživatelů s komfortem externí starosti o správu celého systému.

Oba systémy, centrální i decentrální, pak zajišťují uživatelský komfort z hlediska zajištění požadovaného mikroklimatu v bytech s výhodou úspory energie z větrání.

NAVRHOVÁNÍ SYSTÉMŮ A ÚSPORY ENERGII

Vlastní návrh větracího zařízení by měl vždy být zhotoven dle ČSN EN 15665/Z1 – viz Tab. 1. Z uvedeného pak vyplývají výpočtové hodnoty větrání jednotlivých bytů.

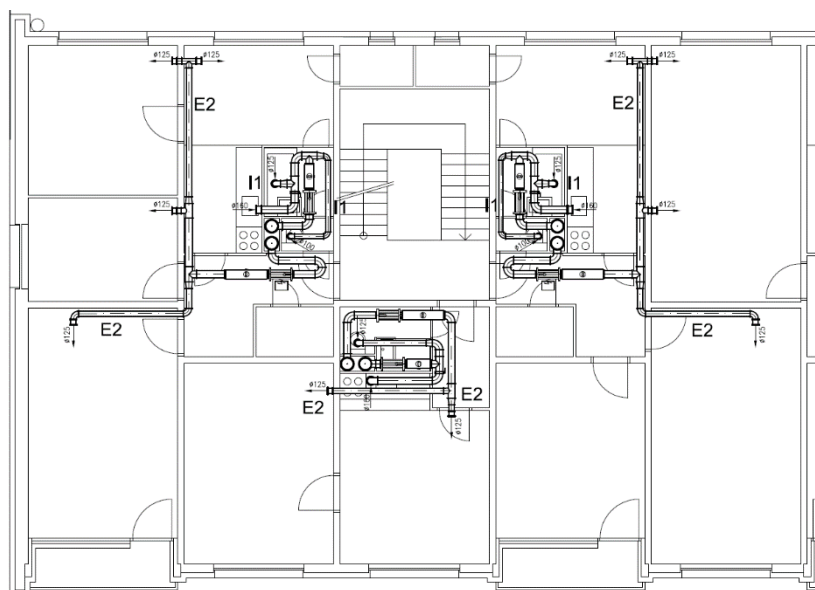
Tab. 1 Požadavky na větrání obytných budov z ČSN EN 15665/Z1 – tabulka NA.1

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání	Dávka venkovního vzduchu na osobu	Kuchyně	Koupelny	WC
	[h ⁻¹]	[m ³ /(hod.os)]	[m ³ /hod]	[m ³ /hod]	[m ³ /hod]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

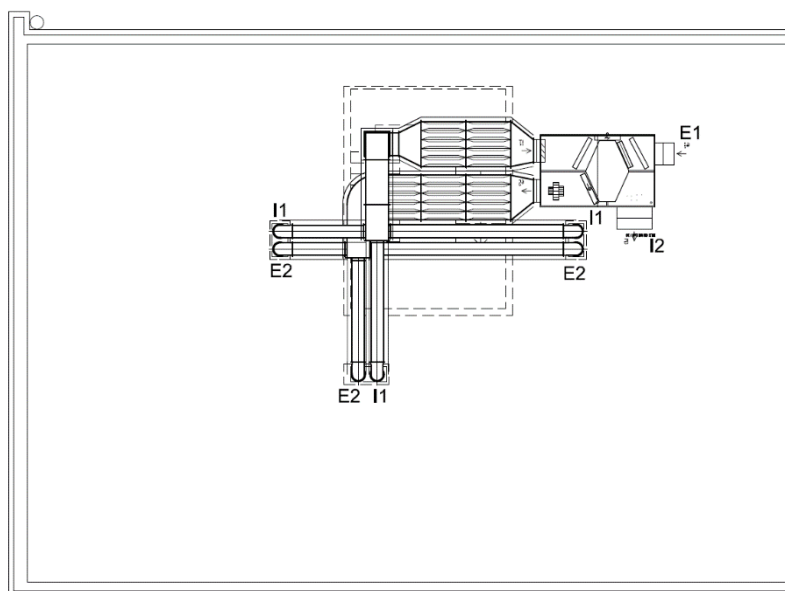
Dále jsou ukázány příklady možné instalace do stávajících objektů s typovými stoupačkami a bytovými jádry, která jsou instalována v mnoha bytových domech.

Bytový dům T06B – řešení centrálním větráním

Na Obr. 5 a Obr. 6 je jako příklad návrh větrání pro polovinu bytového domu typu T06B (druhá polovina je zrcadlově téměř shodná). Je uvažován dům o 8 podlažích a pro tři stoupačky jednoho vchodu do objektu je navrhován společný systém větrání se Smart-boxy. Z hlediska prostoru v jádrech je na **Obr. 5** půdorys nejvyššího podlaží, kde jsou největší průřezy vzduchotechnického potrubí, které má v tomto patře průměr 280 mm. Lze tedy potrubí do jednotlivých jader instalovat a existuje ještě místo pro realizaci kanalizace, rozvodů topení a vody. Směrem k nižším patřům se průměry vzduchotechniky zmenšují a je tedy více prostoru na narůstající průměry kanalizačního potrubí, rozvodů topení i vody. Na střeše je pak realizovaná venkovní vzduchotechnická jednotka s rekuperací tepla s účinností rekuperace 90,5 % a vnitřním elektrickým dohřevem vzduchu za rekuperací. Na střeše jsou v rámci rozvodů vzduchu instalovány tlumiče hluku. Veškeré rozvody ve venkovním prostoru je nutno tepelně izolovat s ochranou proti povětrnostním podmínkám.



Obr. 5 T06B – Půdorys části typického podlaží se systémem Smart-box, nebo Easy-box



Obr. 6 T06B – Půdorys části střechy – napojení na stoupačky

Tab. 2 Výsledky výpočtu množství větraného vzduchu na byty v typickém podlaží

	Trvalé větrání		Nárazové větrání	Zvolené množství větraného vzduchu
	Dle intenzity větrání	Dle dávky vzduchu na osobu		
	m ³ /hod	m ³ /hod	m ³ /hod	m ³ /hod
Byt 1	39,8	60	175	175
Byt 2	23,5	30	150	150
Byt 3	36,5	45	175	175

U návrhu zařízení je nutno si uvědomit, jakým způsobem se musí navrhovat a jakým způsobem následně bude probíhat vlastní větrání. Jednotlivé vzduchotechnické jednotky v bytech

(decentrální větrání) nebo Smart-boxy napojené na centrální jednotku (centrální větrání) jsou navrhovány vždy na maximum z kritérií ČSN EN 15665/Z1. Smart-boxy nebo individuální decentrální jednotky pak větrají převážnou dobu dle nastavení na tzv. trvalé větrání (zde to může být např. pro byt 140 m³/hod). Toto množství větraného vzduchu by mělo být v bytě i v době nepřítomnosti osob. Pokud budou osoby přítomny, systém bude reagovat na:

- individuální požadavek uživatelů tím, že si sami mohou zvednout množství větraného vzduchu – v tomto případě na to musí myslet,
- externí spínače, vypínače v koupelnách, WC, kuchyni. Systém zvedne svůj výkon na tzv. nárazové větrání, pokud je spínač sepnut.
- instalovaná čidla, např. CO₂, vlhkostní čidlo, čidlo kvality vzduchu. Systém opět zvedne svůj výkon, pokud je překročena koncentrace měřené škodliviny.

Pro budovu s 8 podlažími (3 byty na podlaží – jedna polovina navrhované budovy) vychází a je navržena jednotka DUPLEX 4500 Multi Eco v nástřešním provedení. Celková hodnota realizace vzduchotechniky bez pomocných stavebních prací je v řádu 1.820.000 Kč (bez DPH). To činí na bytovou jednotku v průměru 75.850 Kč (bez DPH). K této částce každého bytu je nutno připočítat pouze ovládání každého bytu, které si volí uživatelé a které může být v hodnotách od cca 2.000 Kč až do cca 13.000 Kč dle zvoleného ovladače a případných instalovaných čidel (CO₂, RH)

Porovnání úspor energií

Pokud se mají porovnávat dva různé systémy, pak se musí porovnávat při určitých stejných srovnávacích podmínkách. Pokud srovnávací podmínky nejsou srovnatelné, není možno komentovat rozdíly. Pro systémy větrání se provádí porovnání dle navrženého množství větraného vzduchu na byt nebo dům, a to ve variantách

- při použití oken – bez rekuperace a bez použití elektrické energie k vyvětrání tohoto vzduchu
- při použití větrací jednotky s rekuperací

Níže jsou uvedeny srovnávací hodnoty pro celkové množství větracího vzduchu 4 000 m³/hod – což je souhrnný výkon na polovinu domu – tak, jak je zakresleno na obrázcích. Aby nebylo počítáno s plným výkonem větrání po celou dobu, což neodpovídá realitě, je provoz „upraven“ následovně:

30 % z doby je počítáno 30 % výkonu větrání – výkon 1 200 m³/hod – příkon jednotky 200 W
 40 % z doby je počítáno 50 % výkonu větrání – výkon 2 100 m³/hod – příkon jednotky 300 W
 20 % z doby je počítáno 75 % výkonu větrání – výkon 3 000 m³/hod – příkon jednotky 900 W
 10 % z doby je počítáno 100 % výkonu větrání – výkon 4 000 m³/hod – příkon jednotky 2 600 W

Samozřejmě je možno volit různé výkony a doby použitelnosti systému při daném výkonu, zde by se mělo vycházet ze zkušeností nebo z předpokládaného režimu fungování systému.

Účinnost rekuperace vzduchotechnické jednotky 90,5 %

Pro srovnání je počítáno s venkovními teplotami dle TNI – viz *Tab. 3*

Tab. 3 Venkovní teploty dle TNI 73 0331

Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18,0	17,9	13,5	8,3	3,2	0,5

Z uvedených zadání vyplývají spotřeby energie v kWhod za rok – viz

Tab. 4 a Tab. 5

Tab. 4 Spotřeba energie na větrání při používání oken (kWhod/rok)

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Spotřeba tepelné energie	11 524	9 822	8 818	6 230	3 624	2 042	1 082	1 136	3 403	6 330	8 796	10 550	73 361
Spotřeba elektrické energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 5 Spotřeba energie na větrání při použití jednotky s rekuperací tepla (kWhod/rok)

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Spotřeba tepelné energie	1 095	933	838	592	344	194	103	108	323	601	835	1 002	6 969
Spotřeba elektrické energie	461	416	461	446	461	446	461	461	446	461	446	461	5 431

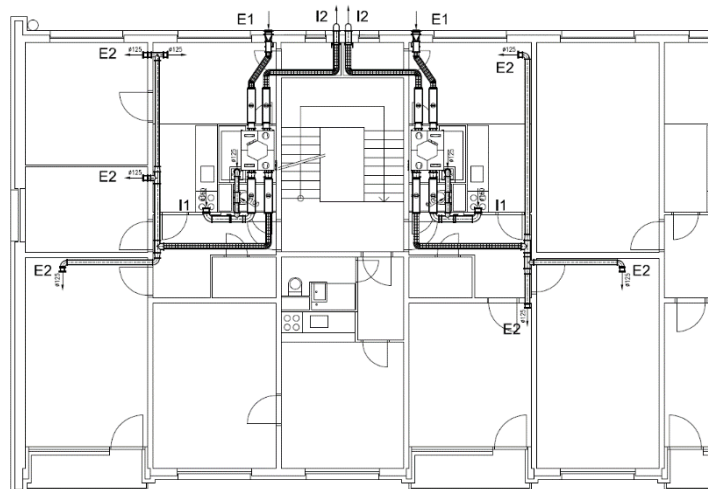
Při ekonomickém srovnání a dosazení ceny elektrické energie 3,20 Kč/kWhod a ceny tepelné energie 550 Kč/GJ pak je roční cena větrání při použití oken v polovině domu 145 254 Kč a při použití vzduchotechnické jednotky 31 178 Kč. Z uvedeného jednoznačně vyplývá výhodnost použití vzduchotechniky s rekuperací. Cena náhradních filtrů do jednotky je 1 460 Kč, předpoklad výměny je 1-2 x ročně.

Bytový dům T06B – řešení decentralním větráním

Decentrální větrání bytového domu T06B je zpracováno ve dvou variantách. Jednotka pro větrání bytu je u obou variant osazena v koupelně pod stropem (osazení nástěnné jednotky je velice problematické vzhledem k malému prostoru koupelny, WC. Do úvahy také přichází možnost osazení jednotky do komory, zde je však problém s odvodem kondenzátu.

Bytový dům T06B – decentrální větrání – Varianta 1

První varianta – viz Obr. 7 – sání a výfuk je řešen na severní straně fasády, výfuk u oken komory. Řešení splňuje vzdálenost sání od výfuku více jak 1,5 m (viz vyhl. 268/2009 Sb.) a také max. vzdálenost od oken obytných místností. Přívod i odvod vzduchu nutno zhotovit s izolací s parozábranou, aby nedošlo ke kondenzaci vlhkosti na těchto částech potrubních rozvodů.

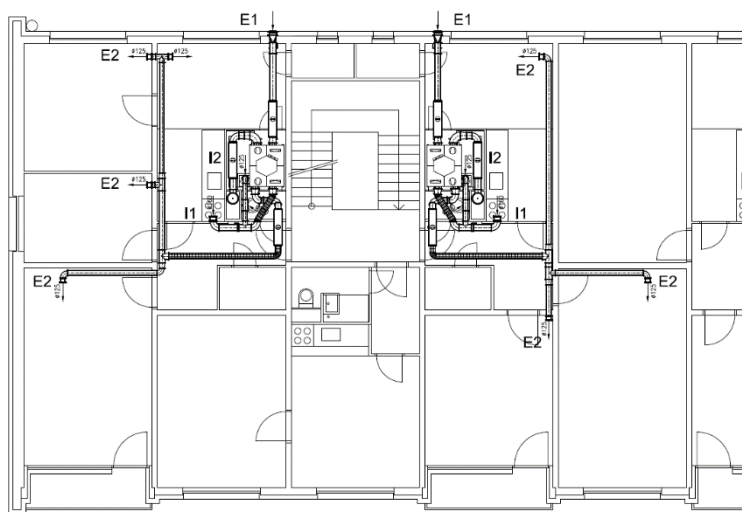
**Obr. 7** T06B – decentrální větrání, sání i výfuk na fasádě objektu

Celková hodnota realizace vzduchotechniky bez pomocných stavebních prací pro variantu 1 v bytě domu T06B je v řádu 92.220 Kč (bez DPH). K této částce každého bytu je nutno připočítat pouze ovládání každého bytu, které si volí uživatelé a které může být v hodnotách od cca 2.000 Kč až do cca 13.000 Kč dle zvoleného ovladače a případných instalovaných čidel (CO₂, RH)

V těchto dvou bytech části domu je možno provést takto nezávisle na ostatních uživatelích větrací systém popsany jako varianta 1. Pro třetí byt na patře je realizace samostatného větracího zařízení komplikovaná. První komplikací je velikost koupelny (jen sprchový kout s umyvadlem a WC) kde je problematické i osazení jednotky pod stropem – zasahuje již do půdorysu sprchového koutu a není jisté, zda toto nebude komplikací z hlediska výšky. Pro stojícího člověka ve sprchovém koutě by jednotka pod stropem mohla být problém. Další komplikací je zhotovení sání a výfuku na fasádu objektu. Zde přichází pouze do úvahy fasáda uživatele bytu a tato fasáda je obvykle jižní, nebo jí blízká, což není vhodné pro nasávání vzduchu v letním období. Výfuk je rovněž komplikací, protože by se vyfukoval vzduch z koupelny, WC nebo kuchyně na fasádu, kde mají blízko okna nebo balkóny uživatelé sousedních bytů. Výfuky znehodnoceného vzduchu jsou na této fasádě nepříjemné. Proto na Obr. není zakresleno řešení bytu 1+1.

Bytový dům T06B – decentrální větrání – Varianta 2

Druhá varianta decentrálního větrání v bytovém domě T06B vychází z první varianty, ale výfuk je řešen do stávajícího odsávacího potrubí ve stoupačce – viz Obr. 8. Sání je řešeno na severní straně fasády. Přívod i odvod vzduchu nutno zhotovit s izolací s parozábranou, aby nedošlo ke kondenzaci vlhkosti na těchto částech potrubních rozvodů.



Obr. 8 T06B – decentrální větrání, sání na fasádě objektu, výfuk do společného odsávacího potrubí

Toto řešení však v sobě skrývá různá potencionální nebezpečí z hlediska napojení na stávající výfukové potrubí, proto by měla být vždy řešena ve spolupráci s projektantem vzduchotechniky. První nebezpečí spočívá v tom, že do tohoto potrubí je z jednotky vyfukován studený vzduch. Pokud by se majitel nebo uživatel chtěl napojit individuálně na toto potrubí, pak bude záležet na tom, kolik uživatelů se napojí celkem. Pokud by byl jen jeden u např. 8 podlažního domu, pak by nemuselo docházet k problémům s kondenzací vzduchu na venkovní straně stoupacího potrubí, pokud by již bylo takových uživatelů více, muselo by se celé potrubí ve stoupačce tepelně izolovat izolací s parozábranou. Otázkou pak je investice izolace, zda ji

budou platit všichni nebo jen ti, kteří si pořizují větrací systém. Další komplikací může být při napojení na stávající odsávací potrubí, zda je toto potrubí osazeno společným odsávacím ventilátorem, nebo zda uživatelé bytů mají vlastní ventilátorky v koupelnách, záchodech. Pokud je totiž společné odsávání, pak je nutno spojit chod jednotky minimálně v tzv. nárazovém větrání s chodem společného odsávacího ventilátoru. Obvykle uživatelé dalších bytů nemusí mít na vstupech osazeny zpětné klapky zabráňující proudění vzduchu přes vyústky do bytů, a proto by při vypnutém ventilátoru a spuštěném nárazovém větrání z jednotky mohl proudit vyfukovaný vzduch do některých bytů, což je nežádoucí.

Tato varianta je již trochu lépe přijatelnější pro byt 1+1, pokud by se vyřešilo osazení jednotky tak, aby nevadilo uživateli a pokud by se pominul negativní fakt nasávání teplejšího vzduchu z jižní fasády. Pro byty 1+1 se jeví nejvhodnější variantou řešení pomocí centrální jednotky a v bytě mít osazeny pouze tzv. Smart-boxy, které budou regulovat přívod a odvod vzduchu do bytu. Toto řešení je však nutno zhotovit ve všech bytech na společných stoupačkách.

Cenově je varianta 2 podobná variantě 1 - bez pomocných stavebních prací pro variantu 2 v bytě domu T06B je v řádu 99.060 Kč (bez DPH). K této částce každého bytu je nutno připočítat pouze ovládání každého bytu, které si volí uživatelé a které může být v hodnotách od cca 2.000 Kč až do cca 13.000 Kč dle zvoleného ovladače a případných instalovaných čidel (CO₂, RH)

Porovnání úspor energií

Pro srovnání úspor energií u těchto variant jsou použity stejné parametry venkovních i vnitřních teplot a následující spotřeby elektrické energie jednotky při daném výkonu decentrální jednotky

100 % výkon – 175 m³/hod – příkon jednotky 70 W

75 % výkon – 131 m³/hod – příkon jednotky 35 W

50 % výkon – 88 m³/hod – příkon jednotky 14 W

30 % výkon – 53 m³/hod – příkon jednotky 6 W

Účinnost rekuperace vzduchotechnické jednotky 95,2 %

Z uvedených zadání vyplývají spotřeby energie v kWhod za rok na jeden byt – viz Tab. 6 a Tab. 7

Tab. 6 Spotřeba energie na větrání při používání oken (kWhod/rok)

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Spotřeba tepelné energie	504,2	429,7	385,8	272,6	158,6	89,3	47,3	49,7	148,9	276,9	384,8	461,6	3 209,5
Spotřeba elektrické energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 7 Spotřeba energie na větrání při použití jednotky s rekuperací tepla (kWhod/rok)

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem
Spotřeba tepelné energie	24,2	20,6	18,5	13,1	7,6	4,3	2,3	2,4	7,1	13,3	18,5	22,2	154,1
Spotřeba elektrické energie	15,9	14,4	15,9	15,4	15,9	15,4	15,9	15,9	15,4	15,9	15,4	15,9	187,5

Při ekonomickém srovnání a dosazení ceny elektrické energie 3,20 Kč/kWhod a ceny tepelné energie 550 Kč/GJ pak je roční cena větrání při použití oken v jednom bytě za cenu 6 355 Kč a

při použití vzduchotechnické jednotky 905 Kč. Z uvedeného jednoznačně vyplývá výhodnost použití vzduchotechniky s rekuperací. Cena náhradních filtrů G4 do jednotky je 29 Kč, předpoklad výměny je 1-2 x ročně.

Chlazení objektů pomocí větracích systémů

V poslední době narůstá zájem na vybavení nebo dodatečnou instalaci chlazení do větracích systémů RD nebo BD. Zde je potřeba si uvědomit nejčastější chybu nebo přístup k této problematice. Obvyklé návrhové hodnoty větracích systémů z hlediska maxima je u RD cca 250 až 300 m³/hod. Na tento výkon jsou navrhovány větrací jednotky i rozvody vzduchu po objektu. Pokud by se mělo i toto maximální množství vzduchu využít pro chlazení, pak výkon, který se přenesе vzduchem, je při $\Delta t = 8 \text{ max. } 10\text{K}$ a 250 m³/hod jen 670 – 840 W. Toto množství chladu se pak rozvádí do celého RD nebo bytu v BD. Proti tomuto jsou však tepelné zisky, které si mnoho klientů neuvědomuje. Nejdůležitějším jsou okna, kde je obvyklý tepelný zisk z 1 m² v hodnotách 600-800 W. To znamená, že chlad, který se rozdělí na místnosti, je v řádech 100-300 W/místnost je násobně pokryt ziskem již jen 1 m² nestíněného okna. Je nutné také vzít do úvahy, že přívodní potrubí od chladiče až po výfukové mřížky nebo vyústky musí být tepelně izolované, a to kaučukovou izolací s parozábranou, aby nedocházelo ke kondenzaci na povrchu potrubí, která by následně ničila stavební konstrukce objektu nebo prostory, kde toto potrubí prochází. Z výše uvedených důvodů, pokud chce klient uvažovat o chlazení, mělo by se toto zvažovat již ve fázi projektu, a ne až v následných letech, kdy je realizován jen větrací systém. I tak chlazení prostřednictvím větracího systému obvykle zajistí jen pokrytí tepelných zisků vyplývajících z objemu větracího vzduchu a nezajistí výkony, které dosahují klasické klimatizační jednotky typu split nebo multi-split.

KONCEPT VĚTRÁNÍ – NUTNOST NEBO ZBYTEČNOST?

Vladimír Zmrhal

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

ANOTACE

Koncept větrání je dokument, který slouží pro základní orientaci v problematice větrání budov pro pobyt osob. Je určen všem osobám činným ve výstavbě, jejichž činnost se dotýká tvorby vnitřního prostředí v budovách – stavebníkům, uživatelům, developerům, architektům, projektantům, dodavatelským firmám, provozovatelům i pracovníkům státní správy (stavebních úřadů apod.). Slouží zejména pro přípravnou fázi dokumentace, kdy dochází k volbě koncepce větrání, lze ho však využít ve všech fázích procesu návrhu i realizace. Uplatní se při návrhu novostaveb, rekonstrukcích i při změnách užívání budov, zejména pokud dochází k výměně okenních výplní. Cílem článku je seznámit čtenáře s obsahem, historií vzniku a blízkou budoucností tohoto dokumentu.

ÚVOD

Zpracování konceptu větrání iniciovala Česká komora lehkých obvodových plášťů (ČKLOP), která sdružuje dodavatele a výrobce okenních výplní. Důvodem této aktivity jsou negativní zkušenosti dodavatelů okenních výplní, kteří jsou často tlačeni k převzetí záruk za větrání prostor určených pro pobyt osob. Přitom požadavky na okenní výplně jsou poněkud v rozporu s požadavky na větrání (tepelně technické vlastnosti, vzduchová neprůzvučnost, spárová průvzdušnost apod.), navíc v nedávné době platila nesmyslná ustanovení týkající se okenních výplní v § 26 vyhlášky č. 268/2009 Sb. [3]. Snahou této iniciativy bylo, aby každá nová nebo zrekonstruovaná budova měla odpovídajícím způsobem vyřešené větrání. Ke zpracování koncepce větrání slouží popisovaný dokument.

Připomínkování dokumentu se zúčastnili zástupci celé řady institucí, spolků a profesních sdružení (MPO, MMR, ÚNMZ, ČKAIT, ČPS, HZS, SZÚ, AES, ČKLOP, Společenstvo kominíků ČR, Cech kamnářů, Svaz podnikatelů ve stavebnictví, Hospodářská komora, Šance pro budovy, Nadace ABF, Svaz českých a moravských bytových družstev, Svaz měst a obcí).

Dokument Koncept větrání není závazný, byl však zpracován podle Metodických pokynů pro plánování, tvorbu a schvalování Pravidel správné praxe Hospodářské komory ČR. V červenci 2017 byl pak Hospodářskou komorou ČR schválen a vydán jako Pravidlo správné praxe pod číslem TPW 170 01 [9].

STRUČNÝ OBSAH DOKUMENTU

Obsah dokumentu byl popsán v článku [10], navíc je dokument volně dostupný na internetu, proto je na tomto místě uveden jen stručný obsah dokumentu.

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 (zákony, nařízení vlády, vyhlášky – zejména [1],[2],[3] a [4]), doporučené technické normy (ČSN EN, ČSN), doporučené technické normativní informace TNI a technická pravidla (např. TPG) a to vždy v jejich platných zněních. Některá doporučení vycházejí ze zahraničních podkladů a zkušeností.

Dokument rozlišuje následující budovy/prostory pro pobyt osob:

- obytné (rodinné domy, bytové domy),
- pobytové (shromažďovací prostory, divadla, kina, sportovní areály, školy, čekárny apod.),
- pracovní nevýrobní (např. kanceláře),
- pracovní výrobní (s výrobní technologií – větrání pro technologii metodika konceptu nezahrnuje),
- pro krátkodobý pobyt (garáže, kotelny apod.).

Kromě přehledu platných právních předpisů, norem a směrnic, které mají přímou vazbu na návrh větrání v konkrétní budově nebo prostoru obsahuje dokument 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. 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 tvorbu koncepce větrání, bilanční výpočty pro návrh větrání a příklad řešení nuceného větrání rodinného domu.

Požadavky na větrání

Koncept větrání uvádí stručný přehled požadavků na větrání s krátkým popisem, jedná se o požadavky hygienické, stavebně technické, bezpečnostní, technologické, požární a energetické.

Základní myšlenkou dokumentu z hlediska požadavků na větrání prostorů pro pobyt osob je upřednostnění hygienických a provozních požadavků před požadavky na dosažení energetických úspor. V dnešní době je nutné řešit obě opatření současně a neoddělovat je od sebe tak, jak se to stalo v uplynulých letech.

Samostatná kapitola je věnována stanovení průtoku větracího vzduchu, kterou doplňuje příloha D, kde jsou uvedeny základní bilanční vztahy pro návrh větrání.

Větrací systémy

Stěžejní otázkou při návrhu větracího systému je často volba mezi přirozeným a nuceným větráním. Přirozené větrání infiltrací (vč. tzv. „mikroventilace“) je u nových oken se zdokonaleným těsněním zcela potlačeno a nelze s ním uvažovat. Jedinou přípustnou možností je použití provětrávání – občasné, přerušované větrání otevíráním oken, které však vyžaduje od uživatelů jistou systematickост. Obecným pravidlem je, že přirozené větrání musí být funkční a komfortní.

Naše právní předpisy, které definují požadavky na větrání pracovišť [1] (§41) přirozené větrání oknem připouštějí, ovšem často musel projektant nesnadno dokazovat, že bude zajištěn minimální požadovaný průtok vzduchu. V tomto směru předložený dokument přišel s novinkou a definuje podmínky pro použití přirozeného větrání na pracovišti (neklimatizovaném) podle německého vzoru [7] na základě geometrických poměrů oken a místnosti (tab. 1). U moderních klimatizovaných administrativních budov (často bez otevíratelných oken) je použití nuceného větrání nasnadě z důvodů zejména energetických.

Častou otázkou je použití provětrávání u obytných budov. U obytných budov provětrávání nesplňuje požadavek na trvalé větrání dle ČSN 15665/Z1 [6]. Podle vyhlášky MMR č. 268/2009 Sb. ve znění pozdějších předpisů má být větrání obytných místností realizováno v souladu s normovými hodnotami. Jak již bylo uvedeno výše, odpovědnost za větrání nese investor / stavebník. Pokud se tedy stavebník a investor v jedné osobě rozhodne, že větrání jeho

vlastního rodinného domu bude řešeno přirozeně provětráváním a sám zajistí dostatečnou četnost otevírání oken, pak proti tomu nelze nic namítat.

Tab. 1 *Limity pro použití přirozeného větrání na trvalém pracovišti*

Systém	Maximální hloubka místnosti B [m]	Maximální počet osob v místnosti	Minimální průtočný průřez okna [m ² /10 m ² podlahové plochy]
Jednostranné větrání	$B_{\max} = 2,5 \cdot H$ (pro $H > 4$ m, je $B_{\max} = 10$ m)	1 osoba / 10 m ²	1,0
Příčné větrání	$B_{\max} = 5 \cdot H$ (pro $H > 4$ m, je $B_{\max} = 20$ m)	podlahové plochy	0,6
H - čistá výška místnosti [m]			

Všechny obytné a pobytové prostory (pokud je to technicky možné) by měly být vybaveny otevíratelnými okny pro větrání v době, kdy není v provozu otopná soustava (v přechodovém a letním období). Intenzivním krátkodobým přirozeným větráním se zpravidla dosáhne vyšších průtoků venkovního vzduchu (např. pro odvod letní tepelné zátěže v noci), než nuceným větráním navrženým na minimální přívod venkovního vzduchu.

Návrh a výběr systému

Koncept větrání uvádí základní doporučení pro návrh a výběr větracího systému pro konkrétní prostory určené pro pobyt osob (viz výše) s odkazem na příslušný právní předpis, normu nebo směrnici.

Pro výběr vhodného systému větrání obytných budov slouží informace uvedené v příloze A, kde jsou znázorněna schémata jednotlivých systémů vč. stručné charakteristiky. Obdobně jsou popsány větrací systémy pro školské budovy v příloze B, která vychází z metodického pokynu pro návrh větrání škol [8].

Požadavky na související profese

Z pohledu požadavků na související profese dokument odkazuje na základní normu pro navrhování větracích a klimatizačních zařízení ČSN 12 7010 [5], kde jsou tyto požadavky detailně popsány.

Provoz, údržba, přejímka a provoz

Dílčí části dokumentu jsou věnovány pokynům pro realizaci a přejímku větracích zařízení a provozu a údržbě. Jedná se o základní informace, které souvisí především s instalací a následným provozem nuceného větrání. Cílem těchto informací je upozornit na skutečnost, že nucené větrání je strojní zařízení, o které je potřeba se odpovídajícím způsobem starat.

Přílohy

Kromě vlastního textu obsahuje dokument „Koncept větrání“ následující přílohy:

- A) Příklady větracích systémů obytných budov
- B) Příklady větracích systémů pro vzdělávací budovy
- C) Vzor protokolu Koncept větrání pro obytné prostory
- D) Bilanční výpočty pro návrh větrání
- E) Příklad řešení nuceného rovnotlakého větrání rodinného domu

Přílohy A, B a D již byly v textu krátce popsány. Příloha C obsahuje postup tvorby konceptu větrání a příklad protokolu pro obytné budovy. Protokol konceptu by měl obsahovat popis prostředků a opatření pro zajištění potřebné intenzity větrání (množství přiváděného venkovního vzduchu), typy a umístění hlavních součástí větracího systému, případně funkční schéma. Příloha E obsahuje příklad řešení nuceného rovnotlakého větrání konkrétního rodinného domu. Příklad není vzorem nebo jedinou možností, jak řešit větrání obytné budovy. K tomuto účelu lze využít i jiné systémy větrání vč. vhodných prvků pro distribuci a rozptýlení vzduchu v prostoru, útlum hluku apod.

BUDOUNOST KONCEPTU VĚTRÁNÍ

Jak bylo popsáno v článku [10], Koncept větrání je dokument, který je „živý“ a je pravděpodobné, že se bude s postupem času dotvářet s ohledem na zkušenosti s jeho praktickým užitím. V současné době se tak pracuje na jeho revizi, která by měla vyústit ve vznik nového dokumentu v podobě Technické normalizační informace (TNI), jejíž vydávání zajišťuje Česká agentura pro standardizaci (ČAS). Předpokládaný datum vydání je počátek roku 2020.

Za dva roky platnosti dokumentu byly shromážděny připomínky zainteresovaných osob a uskupení, které se do revize promítnou. Revidovaný dokument dozná změn zejména v přílohové části. Mezi systémy pro větrání obytných budov bude zařazen systém s větracími jednotkami s regeneračním keramickým výměníkem pro lokální střídavé větrání obytných místností. Úkolem konceptu větrání je, pokud možno, představit všechny systémy větrání dostupné na trhu. Výběr systému je pak věcí uživatele dokumentu. S největší pravděpodobností bude odstraněna příloha C, resp. příklad protokolu Konceptu větrání. Naopak největší změny se dotknou přílohy E, kde bude významný prostor věnován praktickým příkladům řešení větrání obytných a pobytových prostor.

ZÁVĚR

Názory na dokument Koncept větrání se různí a odpověď na otázku uvedenou v názvu tohoto příspěvku je nutno ponechat na názoru čtenáře. Existují uskupení, kteří problematiku dobře chápou a není nutné jim vysvětlovat důvody vzniku dokumentu, na druhou stranu se setkáváme se zjevným nepochopením ze strany představitelů významných institucí.

Nejvíce zarážející je v tomto ohledu přístup ČKAIT, který sdružuje nemalé množství projektantů v oboru Technika prostředí staveb (vč. autora tohoto článku). Místo toho, aby iniciativu podpořil, zveřejnil ve svém informačním zpravodaji [11] text „Koncept větrání není právním předpisem“. To, že Koncept větrání, resp. Pravidla správné praxe (mezi něž patří mj. i předpisy TPG apod.) nejsou právními předpisy je jasné a není nutné se na to dotazovat na MMR. Stejně tak je zarážející názor představitele ČKAIT, který ve svém dopise adresovaném pracovní skupině pro energetickou náročnost a BIM označuje dokument za „pouhou pomůcku pro projektanty staveb“. Přitom ČKAIT žádnou iniciativu v rámci řešení problematiky větrání budov prakticky nevytváří a činnosti projektantů oboru technika prostředí staveb nijak nepodporuje.

Na druhou stranu, dokument se těší přízni Ministerstva průmyslu a obchodu, které jeho vznik podpořilo z programu EFEKT a iniciovalo jeho povýšení na Technickou normalizační informaci.

I když dokument Koncept větrání platí již 2 roky, stále se jedná o poměrně nový materiál a je potřeba, se s ním naučit pracovat. Koncept větrání v podobě TNI, bude stále nezávazným (doporučeným) dokumentem. Samostatnou rovinou tak bude osvěta pro odbornou veřejnost.

V tomto směru je aktivní např. Nadace ABF, která každoročně pořádá konferenci Větrání budov.

LITERATURA

- [1] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů (Vyhláška č. 93/2012 Sb.).
- [2] Vyhláška MZČR 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.
- [3] Vyhláška MMR č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů.
- [4] Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- [5] ČSN 12 7010 Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení – Obecná ustanovení.
- [6] ČSN EN 15665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov.
- [7] ASR A3.6 Technische Regeln für Arbeitsstätten.
- [8] Metodický pokyn pro návrh větrání škol. SFŽP. 2015. Dostupné z <<http://www.opzp.cz/dokumenty>>.
- [9] TPW 170 01 Koncept větrání. Registrováno Hospodářskou komorou České republiky. 2017. Dostupné z <https://www.komora.cz/files/uploads/2018/05/Koncept-vetrani_KV_final.pdf>.
- [10] ZMRHAL V., DRKAL F., ŠIMÁNEK V. Koncept větrání. In: *Vytápění, větrání, instalace*. roč. 26, č. 3, str. 170-172. 2017.
- [11] Informační zpravodaj ČKAIT 2/2018.

VÝKONOVÉ PARAMETRY A ASPEKTY NÁVRHU VENTILÁTOROVÝCH KONVEKTORŮ

Vladimír Zmrhal, Filip Cizner

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz

ANOTACE

Článek uvádí a porovnává výkonové parametry ventilátorových konvektorů dostupných na českém trhu, které uvádí výrobci ve svých projekčních podkladech. V příspěvku jsou zmíněny nejčastější problémy při provozu ventilátorových konvektorů, které mohou být zapříčiněny nevhodným návrhem systému. Článek se zabývá okrajovými podmínkami návrhu, které je nutno zohlednit pro bezproblémový provoz a užívání systému. V příspěvku jsou prezentovány příklady návrhu ventilátorových konvektorů. Polemika je vedena nad běžnou projekční praxí, tj. návrhem systému podle chladicího výkonu s ukázkou ošidnosti takového návrhu. Je zde naznačeno, jakým způsobem postupovat, aby ventilátorové konvektory sloužily svému účelu, tj. zajištění tepelného komfortu přítomných osob.

ÚVOD

Pro komfortní klimatizaci objektů, u kterých se předpokládají odlišné požadavky na stav upravovaného vzduchu (např. administrativní budovy, hotely) se často používá vodní systém s ventilátorovými konvektory (označovaný také jako „fan-coil“) [2]. V řadě aplikací však dochází ke stížnostem, že navržený systém nepracuje správně. Na vině je často projektant, který nezohlednil základní podmínky návrhu a vzájemné souvislosti. Při provozu ventilátorových konvektorů se lze nejčastěji setkat s následujícími problémy:

- vznik pocitu průvanu,
- nedostatečný chladicí výkon,
- hlučnost zařízení.

Vznik pocitu průvanu souvisí zejména s teplotou vzduchu a rychlostí proudění. Nevhodně navržený konvektor, který nezohledňuje způsob přívodu vzduchu, může způsobovat při provozu problémy. Jsou známy instalace podlahových ventilátorových konvektorů zakončených podlahovou mřížkou, které uživatelé kanceláří zakrývají krabicovými kartóny tak, aby na ně tzv. „netáhlo“. Tímto svým konáním snižují průtok vzduchu a tím i chladicí výkon, což následně může vést na nedostatečný odvod tepelné zátěže.

Nedostatečný chladicí výkon může souviset se špatně navrženými vzduchovody, kdy externí tlak ventilátorů nepostačuje k překonání tlakové ztráty vzduchovodů a distribučních elementů. Většina konvektorů sice umožňuje napojení na vzduchovody, bohužel výrobci konvektorů ve svých podkladech externí dopravní tlak ventilátorů často vůbec neuvádí. Dojde-li k zatížení ventilátoru, změní se i průtok vzduchu. To je pro projektanty komplikace. Stejně tak je výhodné znát tlakovou ztrátu veškerého příslušenství konvektorů.

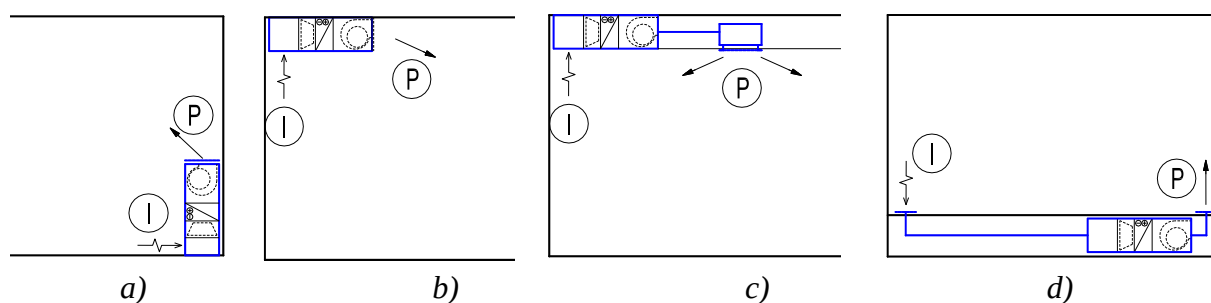
Nedílnou součástí ventilátorového konvektoru je ventilátor, který při nevhodném návrhu systému způsobuje hluk, který může být vnímán některými osobami negativně a obtěžovat je. Největší problémy se projevují při vyšších otáčkách ventilátorů.

Všechny výše uvedené problémy spolu souvisí, proto by návrhu konvektoru měla být věnována náležitá pozornost.

Umístění ventilátorových konvektorů

Mezi nejčastější způsoby umístění ventilátorových konvektorů patří:

- parapetní (Obr. 1a)
- podstropní zakončené mřížkou (Obr. 1b),
- podstropní se vzduchovodem a vířivým anemostatem (Obr. 1c),
- podlahové (Obr. 1d).



Obr. 1 Možnosti přívodu vzduchu z ventilátorového konvektoru do místnosti a) parapetní provedení, b) podstropní s mřížkou, b) podstropní s vířivým anemostatem, d) s podlahovou vyústkou

VÝKONOVÉ PARAMETRY VENTILÁTOROVÝCH KONVEKTORŮ

Mezi výkonové parametry ventilátorových konvektorů patří chladicí výkon Q_{ch} , topný výkon Q_t a příkon P . V článku byly analyzovány výkonové parametry od čtyř výrobců působících na českém trhu [7],[9],[10]. Výrobce [8] nabízí pouze podstropní a kazetové jednotky. Seznam zkoumaných výrobků je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 Seznam analyzovaných ventilátorových konvektorů

Výrobce	Označení	Počet výkonových řad	Stupňů otáček	Pohon ventilátoru	Provedení
Carrier	42C	7	5	AC i EC	parapetní
FläktGroup	Flex-Geko	2x8	5	AC i EC	parapetní
Galletti	Estro	10	3	AC i EC	parapetní
Daikin	FWB-BT	9	7	AC	podstropní

Chladicí výkon

Pro projektování systému s ventilátorovými konvektory je nejdůležitějším údajem chladicí výkon a průtok vzduchu. Chladicí výkon pro daný průtok vzduchu je udáván při jmenovitých podmínkách vnitřního vzduchu (např. 27 °C a 47 %) a teplotě chladicí vody (např. 6/12 °C). Pro odlišné parametry nabízí solidní výrobci přepočtové koeficienty. Celkový chladicí výkon obsahuje citelnou a vázanou složku

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{Q}_{ch,cit} + \dot{Q}_{ch,váz} \quad [W] \quad (1)$$

Někteří výrobci [9] uvádějí ve svých podkladech pouze celkový chladicí výkon, což může, při neznalosti některých souvislostí, vést k nesprávnému návrhu systému (viz dále). Z pohledu návrhu klimatizačního systému je výhodné, když výrobce ve svých podkladech uvádí jak celkový, tak i citelný chladicí výkon [7],[8],[10],

V případě, že výrobce uvádí pouze celkový chladicí výkon definovaný jako

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{V}_p (h_i - h_p) \text{ [W]} \quad (2)$$

je možné teplotu přiváděného vzduchu t_p stanovit přibližně přes faktor citelného tepla g . Ze znázornění procesu chlazení v diagramu h - x vyplývá

$$g = \frac{c(t_i - t_p)}{h_i - h_p} = \frac{c(t_i - t_{p,ch})}{h_i - h_{p,ch}} \text{ [-]} \quad (3)$$

kde $t_{p,ch}$ je povrchová teplota chladiče

$$t_{p,ch} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

Citelný chladicí výkon je definován jako

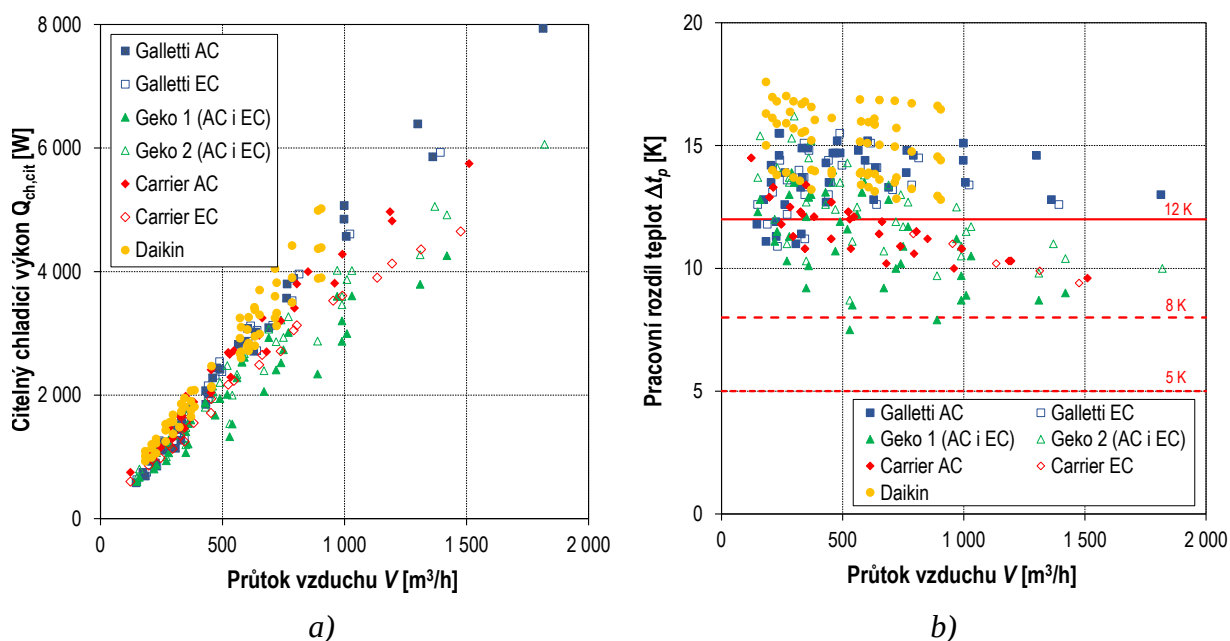
$$\dot{Q}_{ch,cit} = \dot{V}_p c (t_i - t_p) \text{ [W]} \quad (5)$$

kde

$$\Delta t_p = t_i - t_p \text{ [K]} \quad (6)$$

je rozdíl mezi teplotou vnitřního a přiváděného vzduchu neboli pracovní rozdíl teplot.

Na Obr. 2a) jsou graficky znázorněny dosahované citelné chladicí výkony zkoumaných ventilátorových konvektorů v závislosti na průtoku vzduchu. Uvedené hodnoty odpovídají teplotě vnitřního vzduchu 27 °C a relativní vlhkosti 47 %, teploty chladicí vody jsou 7/12 °C. Je zřejmé, že chladicí výkony jsou do průtoku 500 m³/h srovnatelné, výraznější rozdíly je možné sledovat zejména pro vyšší průtoky nad 500 m³/h.



Obr. 2 Citelný chladicí výkon (a) a pracovní rozdíl teplot Δt_p pro jmenovitý průtok vzduchu zkoumaných konvektorů (b)

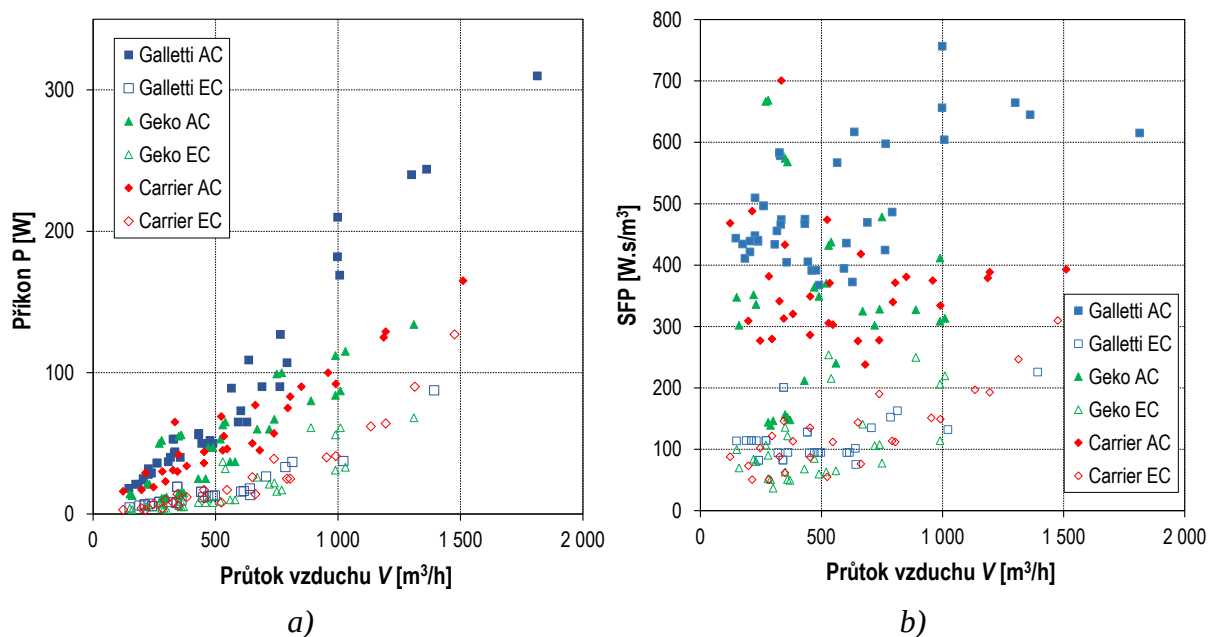
Teplota přiváděného vzduchu

Při znalosti citelného chladicího výkonu a průtoku vzduchu je možné dle (5),(6) stanovit pracovní rozdíl teplot Δt_p , resp. teplotu přiváděného vzduchu z ventilátorového konvektoru. Výsledky Δt_p pro jmenovité (maximální) výkony zkoumaných ventilátorových konvektorů jsou uvedeny na Obr. 2b). Z grafu je zřejmé, že pracovní rozdíly teplot Δt_p dosahují, při jmenovitém výkonu 7,5 až 17,6 K, přičemž většina hodnot je v pásmu $\Delta t_p > 12$ K.

Např. pracovní rozdíl teplot $\Delta t_p = 16$ K představuje teplotu přiváděného vzduchu $t_p = 11$ °C. Z hlediska návrhu ventilátorového konvektoru s ohledem na dosažení tepelného komfortu přítomných osob (riziko vzniku průvanu) je velmi diskutabilní (viz dále), aby teplota přiváděného vzduchu z konvektoru do pobytové místnosti byla 11 °C (jak je uvedeno např. v článku [4]).

Příkon

Z hlediska energetické náročnosti je zajímavým údajem příkon P ventilátorových konvektorů, který přímo ovlivňuje spotřebu elektrické energie. Příkon konvektoru závisí na typu použitého pohonu ventilátoru. Příkony zkoumaných ventilátorových konvektorů jsou uvedeny na Obr. 3a). Zatímco příkony konvektorů s moderními EC motory jsou srovnatelné, příkon konvektorů s AC motory se liší. Rozdíl v příkonu konvektoru s EC a AC motorem může být dvou až trojnásobný, což se samozřejmě projeví na spotřebě elektrické energie. Na Obr. 3b) je pak uveden měrný příkon ventilátorových konvektorů $SFP = P/\dot{V}$ [W/(m³/s)], který dobře vypovídá o energetické náročnosti zařízení z hlediska potřeby elektrické energie.



Obr. 3 Příkon (a) a měrný příkon (b) zkoumaných ventilátorových konvektorů

PŘÍSTUPY K NÁVRHU VENTILÁTOROVÝCH KONVEKTORŮ

Následující příklady prezentují různé přístupy při návrhu ventilátorových konvektorů. Pro jednoduchost se předpokládá, že přívod venkovního větracího vzduchu $\dot{V}_e$ je izotermní $t_{pe} = t_i$ a nepodílí se na úhradě tepelné zátěže. Návrhové parametry jsou: teplota vnitřního vzduchu 27 °C, relativní vlhkost 47 % a teploty vstupní a vratné chladicí vody 6/12 °C. Maximální citelná tepelná zátěž klimatizovaného prostoru je $\dot{Q}_{z,cit} = 1,92$ kW.

Příklad 1 - nesprávný přístup

Projektant volí ventilátorový konvektor z podkladů výrobce (Tab. 2) dle tepelné zátěže a vybere velikost 2. Konvektor pracuje v rozmezí otáček 3 až 5, s tím, že maximální chladicí výkon je 2,3 kW při průtoku vzduchu 535 m³/h. Běžný provoz se přepokládá při otáčkách 3 a 4, pouze při extrémní zátěži pracuje konvektor v 5. stupni otáček.

Jedná se o návrh v projekční praxi běžný (podobným způsobem se navrhují rovněž chladivové klimatizační systémy), nicméně nesprávný.

Na první pohled je ventilátorový konvektor navržen s rezervou, neboť jeho chladicí výkon je vyšší než tepelná zátěž a návrh je v tomto směru v pořádku. Při bližším zkoumání podkladů výrobce [9] zjistíme, že chladicí výkon uvedený v jeho podkladech (Tab. 2) je celkový chladicí výkon a pro zjištění citelného výkonu je nutné provést přibližný přepočet s použitím psychrometrických výpočtů [1] a rovnice (2), (3), (5).

Tab. 2 Výkonové parametry vybraného ventilátorového konvektoru (Zdroj: [9]) 6/12 °C

Velikost	Stupeň otáček	Průtok vzduchu [m ³ /h]	Výkonová řada 1		Akustický tlak [dB(A)]
			Chladicí výkon [kW]	výkon [kW]	
2	1	155	1,0	1,0	<20
	2	225	1,3	1,2	26
	3	280	1,6	1,4	33
	4	355	1,8	1,6	37
	5	535	2,3	2,0	49

Z rovnice (2) stanovíme entalpii přiváděného vzduchu

$$h_p = h_i - \frac{\dot{Q}_{ch}}{\dot{V}_p} = 53,7 - \frac{2,3 \cdot 3600}{535 \cdot 1,2} = 40,8 \text{ [kJ/kg]}$$

a z rovnice (3) pak jeho teplotu

$$t_i - t_p = \frac{(t_i - t_{p,ch})}{h_i - h_{p,ch}} h_i - h_p = \frac{(27 - 9)}{53,7 - 27,3} 53,7 - 40,8 = 8,8 \text{ [K]}$$

$$t_p = t_i - 8,8 = 27 - 8,8 = 18,2 \text{ [°C]}$$

Citelný chladicí výkon ventilátorového konvektoru dle (5) pak bude

$$\dot{Q}_{ch,cit} = \dot{V}_{pc} (t_i - t_p) = \frac{535}{3600} 1010 \cdot 1,2 (27 - 18,2) = 1,58 \text{ [W]}$$

Z výsledku zjišťujeme, že citelný chladicí výkon činí $\dot{Q}_{ch,cit} = 1,58$ kW při teplotě přiváděného vzduchu z konvektoru $t_p = 18,2$ °C. Z uvedeného vyplývá, že vybraný konvektor není schopen uhradit při návrhovém stavu (za extrémních podmínek) tepelnou zátěž dané místnosti.

$$\dot{Q}_{ch,cit} < \dot{Q}_{z,cit}$$

Příklad 2 – přístup na hraně možností ventilátorového konvektoru

Zadání je shodné jako v předchozím případě tj. tepelná zátěž klimatizované místnosti je $\dot{Q}_{z,cit} = 1,92$ kW. Projektant tentokrát volí ventilátorový konvektor dle Tab. 3 o velikosti 4, který pracuje při otáčkách 1 až 3, s tím, že maximální chladicí výkon je 2,9 kW při průtoku 485 m³/h.

Obdobně jako v předchozím případě provedeme výpočet citelného chladicího výkonu dle rovnic (2), (3) a (5). Z výsledků vyplývá, že citelný chladicí výkon činí $\dot{Q}_{ch,cit} = 1,99 \text{ kW}$ a platí

$$\dot{Q}_{ch,cit} \geq \dot{Q}_{z,cit}.$$

Ventilátorový konvektor je tak v schopen odvést tepelnou zátěž místnosti i při extrémním zatížení. Teplota přiváděného vzduchu z konvektoru je však $t_p = 14,8 \text{ °C}$, což je hodnota na hraně možností distribuce přiváděného vzduchu do prostoru ($\Delta t_{p,max} = 12 \text{ K}$). Pro takto vysoký pracovní rozdíl teplot se obvykle používají přírodní výusti s intenzivním směřováním (vířivé anemostaty). Použití ventilátorového konvektoru v parapetním nebo podlahovém provedení je v tomto případě prakticky vyloučeno, resp. s největší pravděpodobností povede na problémy s pocitem průvanu.

Tab. 3 Výkonové parametry vybraného ventilátorového konvektoru (Zdroj: [9]) 6/12 °C

Velikost	Stupeň otáček	Průtok vzduchu [m³/h]	Výkonová řada 1		Akustický tlak [dB(A)]
			Chladicí výkon [kW]	Tepelný výkon [kW]	
4	1	285	2,0	1,9	20
	2	355	2,3	2,2	25
	3	485	2,9	2,6	33
	4	715	3,6	3,2	42
	5	980	4,3	3,7	50

Příklad 3 – Správný přístup

Správný přístup je navrhovat ventilátorový konvektor s ohledem na průtok vzduchu $\dot{V}$ a pracovní rozdíl teplot Δt_p pro odvod tepelné zátěže $\dot{Q}_{z,cit}$ a následně kontrolovat jeho výkon $\dot{Q}_{ch,cit}$.

Pracovní rozdíl teplot ($t_i - t_p$) se může pohybovat v rozmezí 3 až 12 K a je nutné ho volit, s ohledem na umístění konvektoru a zvolenou distribuci vzduchu v prostoru obdobně jako je tomu u návrhu výustí [1]. Doporučené hodnoty pracovního rozdílu teplot pro různé varianty instalace ventilátorových konvektorů je uveden v Tab. 4.

Tab. 4 Doporučené pracovní rozdíly teplot pro různé varianty řešení

Umístění konvektoru	Typ distribučního elementu (výusti)	$\Delta t_{p,max} = (t_i - t_p)$	Poznámka
parapetní	mřížka	6 – 8 K	s ohledem na vzdálenost od pracovního místa
kazetové		8 K	
podstropní	obdélníková výust'	6 - 8 K	
podstropní	vířivý anemostat	12 K	
podlahové	podlahová mřížka	3 - 6 K	s ohledem na vzdálenost od pracovního místa

Celkový průtok vzduchu potřebný pro odvod tepelné zátěže např. pro parapetní umístění je

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_{z,cit}}{\rho c (t_i - t_p)} = \frac{1,92 \cdot 1000}{1,2 \cdot 1010 \cdot 8} = 713 \text{ [m³/h]} \quad (7)$$

Na základě vypočítaného průtoku vzduchu $\dot{V}$ se pro danou aplikaci se vybere ventilátorový konvektor. Z podkladu výrobce (0) vybíráme velikost 4 s otáčkami 2 až 4.

Komplexní návrh ventilátorových konvektorů vč. respektování vlhkostní zátěže, variantního řešení přívodu venkovního vzduchu a zakreslení úpravy vzduchu do $h-x$ diagramu je uveden v literatuře [2]. Není účelem tohoto příspěvku opakovat informace již publikované, nýbrž upozornit a vysvětlit specifika návrhu ventilátorových konvektorů.

Tab. 5 Výkonové parametry vybraného ventilátorového konvektoru (Zdroj: [9]) 6/12 °C

Velikost	Stupeň otáček	Průtok vzduchu [m³/h]	Výkonová řada 1		Akustický tlak [dB(A)]
			Chladicí výkon [kW]	Tepelný výkon [kW]	
4	1	285	2,0	1,9	20
	2	355	2,3	2,2	25
	3	485	2,9	2,6	33
	4	715	3,6	3,2	42
	5	980	4,3	3,7	50

Z výsledku výše uvedeného příkladu 3 je zřejmé, že správný návrh „dle průtoku“ ventilátorových konvektorů vede na volbu zařízení s větším výkonem a ventilátorový konvektor se zdá být předimenzovaný (často je nutno zvolit vyšší výkonovou řadu). Výkon konvektoru je nutné regulovat na straně vody. Další možností, jak využít ventilátorový konvektor s ohledem na zvolenou aplikaci je zvýšit teplotu chladicí vody, což umožňuje provozovat ventilátorový konvektor s vyšší energetickou účinností. V 0 je příklad jak se změní výkon zvoleného konvektoru při teplotě vody 12/16 °C. Celkový chladicí výkon je v tomto případě roven citelnému výkonu ($t_{pch} > t_{rb}$). Je zřejmé, že takto provozovaný konvektor rovněž zajistí odvod tepelné zátěže.

Tab. 6 Výkonové parametry vybraného ventilátorového konvektoru (Zdroj: [9]) 12/16 °C

Velikost	Stupeň otáček	Průtok vzduchu [m³/h]	Výkonová řada 1		Akustický tlak [dB(A)]
			Chladicí výkon [kW]	Tepelný výkon [kW]	
4	1	285	1,18	2,9	20
	2	355	1,36	3,4	25
	3	485	1,71	4,0	33
	4	715	2,12	4,6	42
	5	980	2,54	5,3	50

ZÁVĚR

Nesprávný návrh ventilátorových konvektorů může vést k nepříjemnostem při provozu zařízení a ke stížnostem ze strany uživatelů. Často jsou nepříjemnosti způsobeny nesprávným návrhem nebo nezohledněním projekčních podkladů nebo základních podmínek provozu zařízení. S ohledem na relativně vysoký výkon chladiče při nízkých teplotách vody (6/12 °C) je možné vzduch chladit neztřídkou až na hodnoty kolem 10 °C, což v letním období může způsobovat problémy se vznikem průvanu. Doporučuje se navrhovat systémy podle průtoku, což může vést na volbu výkonově většího (dražšího) zařízení.

Obdobná situace se projevuje i u chladičových systémů, kde návrh podle chladicího výkonu může vést na obdobné problémy. U těchto systémů je však situace složitější s ohledem na jejich regulaci na straně chladiva.

LITERATURA

- [1] DRKAL, F., ZMRHAL, V. Větrání. Vysokoškolské skriptum. 2. vydání. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2018.
- [2] DRKAL, F., LAIN, M., ZMRHAL, V. Klimatizace. Vysokoškolské skriptum. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2017.
- [3] CIZNER, F. Výkonové parametry ventilátorových konvektorů. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. 2019.
- [4] FARKA, J. Chladicí trám nebo fan-coil? TZB-info [online]. 6.6.2011 Dostupné z: <<https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7147-chladici-tram-nebo-fan-coil>>
- [5] TROJAN R., KOMÁREK L. Fan coil - jeho pád nebo renesance. TZB-info [online]. 23.7.2012. Dostupné z: <<https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8857-fan-coil-jeho-pad-nebo-renesance>>
- [6] ZMRHAL R., LAIN M. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (II) - 1. část Distribuce vzduchu. TZB-info [online]. 21.5.2007. Dostupné z: <<https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/4139-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-ii-2-cast>>
- [7] Technické podklady Carrier [online]. Room Fan Coils: 42N [online]. 2015. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://dms.hvacpartners.com/docs/1001/Public/0D/14494_PSD_12_2015_42N.pdf>
- [8] Technické podklady Daikin [online]. Katalog 2017-2018: Chladicí jednotky, fan coil jednotky a vzduchotechnická zařízení. 2017. Dostupné z: <http://www.cz-klimatizace.cz/files/cenik_-_katalog_2017/katalog-aplikovane-systemy-daikin-2017-2018-azchl.pdf>
- [9] Technické podklady FläktGroup [online]. Flex-Geko®: Projekční data. 2018. Dostupné z: <<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/29cfd53c-8f0b-4a2e-8f15-ee5b50b4793a>>
- [10] Technické podklady Galletti [online]. Hydronic indoor units. 2013. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://www.galletti.cz/galletti2013/Data/Galletti_konvektory.pdf>

SEZNAM OZNAČENÍ

c	měrná tepelná kapacita	[J/kg.K]
h	entalpie	[kJ/kg _{s.v.}]
P	příkon	[W]
$\dot{Q}$	výkon	[W]
SFP	měrný příkon ventilátoru	[W.s/m ³]
t	teplota	[°C]
$\dot{V}$	objemový průtok	[m ³ /s]
ρ	hustota	[kg/m ³]
Δt	rozdíl teplot	[K]

Indexy

cit	citelný
ch	chladicí
i	vnitřní
p	přiváděný
p,ch	povrchová chladiče
rb	rosný bod
váz	vázaný
w1	vstupní vody
w2	vratné vody

EC VENTILÁTORY – JSOU SKUTEČNĚ ZELEŇJŠÍ?

Elektro-system-technik s. r. o.

obchod@est-praha.cz

EC TECHNOLOGIE VE VZT

V posledních letech jsou úspory energie, „zelené“ myšlení, ekologie a další podobné problematiky řešeny v médiích stále častěji, než tomu bylo v minulosti. Napomáhá tomu i řešená problematika globálního oteplování a s tím pravděpodobně související změny počasí, které se projevují i v našem mírném pásu.

Nejen díky tomu se z tohoto zeleného myšlení stalo poměrně hojně využívané komunikační téma výrobců. A u značky HELIOS tomu není jinak a je pro to důvod. Mnohdy se setkáváme s informacemi a názory, že je EC technologie pouze způsobem řízení a při trvalém provozu nemá na spotřebu zase takový vliv. Případně, že EC technologie se vyplatí pouze u ventilátorů o větších průtocích, v průmyslu a dalších podobných odvětvích.

V poslední době jsou ventilátory s EC technologií používány v projektech stále častěji, a to hned z několika důvodů. Jedním z nich je bezesporu snadný způsob řízení. Každý ventilátor lze po zapojení regulovat jakýmkoli regulátorem s výstupem 0-10V bez ohledu na jeho průtok či výkon. Odpadá tak složité zapojování transformátorových regulátorů či frekvenčních měničů. Ačkoli jsou tyto ventilátory oproti AC verzi stále dražší, z širšího hlediska celkových nákladů na instalaci a řízení většinou znamenají úsporu. Tento důvod je však opodstatnitelný pouze u větších ventilátorů a náročnějších aplikacích.

Druhým ještě významnějším důvodem využívání těchto typů ventilátorů je jejich nižší celkový příkon. A tento důvod je zajímavý nejen pro velké aplikace, průmysl a podobné projekty, ale důležitý i v případě těch nejmenších ventilátorů, které používá většina z nás doma.

Právě HELIOS je si tohoto vědom a v minulosti zařadil do svého portfolia i radiální ventilátory ELS v provedení EC. Tato technologie umožňuje uspořit až 70% energie při zachování průtoku vzduchu při shodném externím tlaku a hluku.

Neméně důležitým dopadem použití této technologie je možnost využití podstatně širšího rozpětí průtoků, než které byly k dispozici u AC verzí, kde to technologicky nebylo možné. Díky tomu, že ventilátory nabízejí kromě standardních průtoků i průtoky 15, 25, 40 a 45 m³/h, je druhotným efektem EC technologie další úspora vyplývající z využívání jen takového množství vyměněného vzduchu, jakou daný prostor skutečně potřebuje.

PŘÍPADOVÁ STUDIE – VĚTRÁNÍ BYTOVÉHO DOMU

Standardní bytový dům o 8 mi patrech a 4 bytech v každém patře tak může být osazen až 64 ventilátory (koupelna a WC). Vzhledem k tomu, že všechny tyto prostory by měly být větrány trvale, bude při průtoku vzduchu 35 m³/h rozdíl příkonu 320 W při trvalém průtoku. Rozdíly příkonů jednotlivých typů ventilátorů jsou zpracovány v tabulce Tab. 1.

Tab. 1 Porovnání příkonů jednotlivých verzí ventilátorů ELS

	Průtok [m ³ /h]	EC příkon [W]	AC příkon [W]	Rozdíl [W]
ELS 100	100	15	29	14
ELS 60	60	6	18	12
ELS 35	35	4	9	5

Za předpokladu, že vyšší otáčky budou využívány v průměru 10krát za den po dobu 12 minut, bude provoz rozdělen na 2+22 hodin. Rozdíl příkonu u vyššího průtoku je 14 W, celkově 896 W pro celý dům.

Celkový rozdíl při běžném předpokládaném využití u tohoto typu domu bude za jeden den 8,8kWh. EC technologie tak uspoří až 3,22 MWh za rok.

Při uvažování možnosti použití ještě nižšího průtoku u EC verze 15 m³/h, u které je příkon 3,5 W, bude rozdíl ještě větší.

SILNĚJŠÍ. TIŠŠÍ. ELEGANTNĚJŠÍ. ZELENĚJŠÍ. VENTILÁTORY ZNAČKY HELIOS – ELS EC

ELS EC znamená ideální symbiózu pokročilé technologie motoru a prvotřídního systému větrání. Kromě mimořádně hospodárného pohonu zahrnuje také speciálně vyvinuté oběžné kolo pro zajištění maximálního tlaku při minimálním hluku – tím jsou zajištěny nejlepší parametry ve všech ohledech.

Díky ještě vyššímu tlaku je výkonnější než jakýkoli jiný systém na trhu a zároveň nepřekonatelně tichý díky jedinečné technologii ultraSilence®. A to vše zabalené do designu, který byl oceněn světem profesionálů řadou ocenění za design.



Obr. 1 Ventilátor HELIOS ELS EC



Obr. 2 Přístup k filtru ventilátoru

ZÁVĚR

Domovní EC ventilátory ELS určitě životní prostředí celé nezachrání, ale zcela určitě přispívají k lepšímu využívání energií stejně jako je tomu například u LED osvětlení. Na rozdíl od osvětlení však člověk čerstvý vzduch potřebuje trvale a nikoli pouze v noci.

POKROČILÉ TYPY ZKOUŠEK NEJEN PRO KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Ing. Petr Vávra, Ph.D.

ETC Prague
vavra@etcprg.cz

EVROPSKÉ TESTOVACÍ CENTRUM

ETC Prague v Hostivici u Prahy je jedním z nejmodernějších vývojových a testovacích center v Evropě, které se zabývá řešením technických problémů transportního chlazení, klimatizace a zkoušením hotových výrobků v oblasti chladicí a klimatizační techniky.

ETC Prague má řadu jedinečných laboratoří a zkušeben, které jsou akreditované dle mezinárodního standardu EN ISO/IEC 17025.

Hlavním posláním ETC Prague jsou testy prototypů pro mateřskou společnost. Organizace práce zároveň umožňuje nabídnout část kapacity zkušeben externím zákazníkům.

ETC Prague se specializuje na aplikovaný výzkum a vývoj, zaměřený na budoucnost transportního i stacionárního chlazení. Příkladem mohou být nové principy pohonu mobilních chladicích a klimatizačních jednotek, zavádění alternativních chladiv (včetně chladiv přírodních) nebo nové desinfekční systémy ve stacionárním i mobilním chlazení a v klimatizaci.

ETC Prague je držitelem mnoha tuzemských i mezinárodních certifikátů.

INGERSOLL RAND V ČESKÉ REPUBLICCE

Ingersoll Rand a Thermo King v České republice působí již od roku 1992, kdy byl založen společný podnik společností Thermo King a Frigera. Ten se skládal z výrobního závodu v Kolíně a Výzkumného ústavu chladicí techniky (VÚCHT) v Praze na Smíchově. V roce 1997 došlo k akvizici společnosti Thermo Kingu společností Ingersoll Rand.

Nyní má Ingersoll Rand kromě ETC Prague v České republice výrobní závod v Ovčárech u Kolína a prodejní a servisní středisko Trane v Praze. V České republice pracuje dohromady více než 450 zaměstnanců.

HISTORIE

Základy ETC Prague byly položeny v roce 1948 v Praze na Smíchově, kdy v prostorách, které dříve sloužily jako sklady firmě Ringhoffer, vznikl Výzkumný ústav chladírenské a potravinářské techniky.

Umístění ústavu na Smíchově neumožňovalo jeho další rozvoj v rámci společnosti Ingersoll Rand. Proto bylo rozhodnuto o vybudování nového pracoviště v Hostivici u Prahy, v blízkosti mezinárodního letiště Václava Havla v Praze Ruzyni. Zde byl začátkem roku 2007 uveden do provozu administrativně zkušební komplex sloužící pro testování a výzkum především v oblastech chlazení, klimatizací, spolehlivosti a vibrací. V roce 2012 došlo k rozšíření pracoviště o zkušebny určené k testování vzduchových kompresorů. Administrativní budova, kde jsou umístěna mimo jiné školicí centra, poskytuje dokonalé zázemí pro práci až 90 odborných pracovníků. Dalších až 50 zkušebních techniků a inženýrů může pracovat ve dvou budovách zkušeben.

VÝZKUM, VÝVOJ, ANALÝZY A SPOLEHLIVOST

V ETC Prague působí několik skupin odborníků. Jsou zde dvě oddělení vývoje nových technologií. První se zabývá oblastí chlazení a vším, co s touto problematikou souvisí. Jedná se především o ověřování a výběr nových technologií vhodných pro zavedení do praxe a o identifikaci a zkoušení alternativních chladiv tak, aby splnila požadavky legislativy. Hlavním cílem je snižování negativního vlivu na životní prostředí.

Druhé oddělení vývoje nových technologií se věnuje elektrickým systémům pro chladicí a klimatizační techniku. Jedná se především o elektrické napájecí systémy, řídicí jednotky a software. Cílem je zvýšení účinnosti a nezávislost na spalovacích pohonech.

Další oddělení se věnuje analýzám. Jedná se především o pevnostní výpočty, spolehlivostní analýzy, hluk a vibrace.

ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE

Vybavení zkušebních laboratoří umožňuje validovat jednotlivé komponenty, finální výrobky či jejich části a celé systémy. Zkoušky se dále dělí na životnostní a výkonové. Speciálními obory jsou elektromagnetická kompatibilita, korozní zkoušky a vibrační zkoušky. ETC Prague zajišťuje pro své zákazníky komplexní servis ve spolupráci s ostatními laboratořemi v regionu v případě potřeby speciálních testů. ETC Prague dále spolupracuje s vysokými školami.

Velkoprostorové klimatické komory

ETC Prague je ojedinělé tím, že nabízí velký prostor laboratoří a zkušeben, který umožňuje testovat klimatizační jednotky pro přepravní prostředky, jako například: autobusy, trolejbusy, tramvaje, nákladní vozy či vojenskou techniku v extrémních teplotních a vlhkostních podmínkách. Zákazník tak ušetří prostředky, které by musel investovat do úprav a oprav v reálném provozu.

ETC Prague je vybaveno 6 klimatickými komorami o objemu od 2,5 m³ až po 630 m³. Největší velkoprostorová klimatická komora v ČR má rozměry: 21 m x 5 m x 6 m. Její teplotní rozsah je od -33 °C až do +60 °C a navíc umožňuje i řízení vlhkosti.



Obr. 1 Klimatická zkouška autobusu



Obr. 2 Klimatická zkouška vibračních válců

Vibrační a mechanické zkoušky

ETC Prague testuje mechanické odolnosti komponent, zařízení a přístrojů proti působení vibrací a rázů. Vibrační testy je možné kombinovat i s klimatickými zkouškami.

Kromě standardních jednoosých elektromagnetických vibračních stolů disponuje i unikátním víceosým hydraulickým systémem, který dokáže přesně nasimulovat zátěžový profil

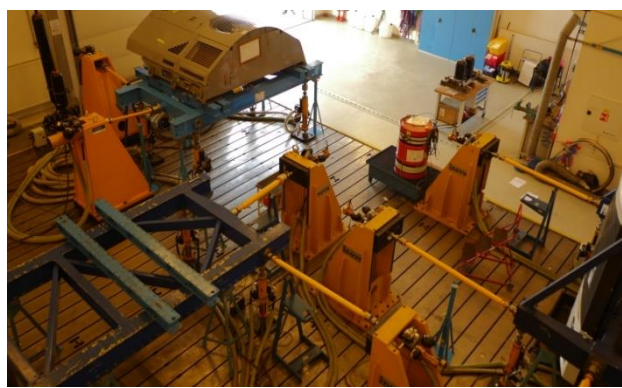
odpovídající reálnému provozu (například jízdě po vozovce či železnici). Celý proces je výrazně urychlen, díky čemuž se dramaticky zkracuje doba trvání životnostních testů.

Jednoosé elektromagnetické vibrační stoly jsou určeny především pro validaci komponent a malých zařízení o celkové hmotnosti do 900 kg. Maximální dynamická síla vibračního zařízení pro sinusové vibrace je 49 kN, při maximální výchylce ± 50 mm. Frekvenční rozsah je od 2 Hz do 2000 Hz. Vibrační stůl je možné doplnit o klimatickou komoru o rozměru 1,5 m x 1,5 m x 1,2 m s teplotním rozsahem od -40 °C až do $+180$ °C a tím provést kombinovanou vibrační zkoušku spolu s klimatickou zkouškou dohromady.

Víceosé hydraulické systémy slouží k validaci celých zařízení a kompletních sestav a to až do celkové hmotnosti 10 t. Výhodou hydraulického systému je víceosé namáhání se všemi stupni volnosti. Maximální dynamická síla ve vertikálním směru je 256 kN a v horizontálním směru pak 128 kN. Frekvenční rozsah je od 2 Hz do 200 Hz.



Obr. 3 Elektromagnetický vibrační stůl s klimatickou komorou



Obr. 4 Hydraulický systém pro víceosé namáhání

Termodynamické zkoušky

Kromě klimatických a vibračních testů je ETC Prague vybaveno zkušebnami pro měření topného a chladicího výkonu klimatizačních a chladících jednotek, spotřeby energií a průtoků vzduchu.

K dispozici jsou dvě zkušebny pro HVAC jednotky s rozsahem simulovaných teplot okolí od $+15$ °C do $+60$ °C a řízením vlhkosti. Rozsah měření chladicího výkon je až do 45 kW, rozsah měření průtoků vzduchu je od 50 m³/h až do $16\,800$ m³/h.

Dále jsou k dispozici dvě kalorimetrické komory s rozsahem simulovaných teplot okolí od -35 °C do $+60$ °C a s rozsahem měření chladicího výkonu až do 26 kW.



Obr. 5 Měření chladicího a topného výkonu chladicí jednotky



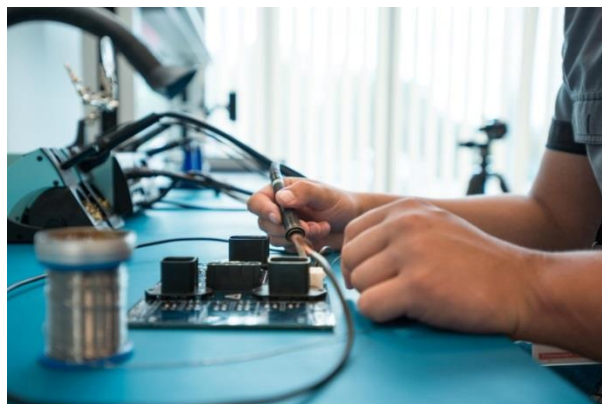
Obr. 6 Měření chladicího a topného výkonu chladicí jednotky

Zkoušky elektromagnetické kompatibility – EMC

Zkoušky elektromagnetické kompatibility provádí ETC Prague podle mezinárodních technických norem, nebo dle vlastních technických požadavků zákazníka, jak pro automobilový, tak pro průmyslový standard. Zkoušky zahrnují měření vyzařovaného a vedeného rušení. Dále se provádějí zkoušky odolnosti vedením a odolnosti proti elektrostatickému výboji.



Obr. 7 Měření elektromagnetických emisí



Obr. 8 Návrh elektrických komponent

K pravidelným zákazníkům patří dodavatelé komponentů pro: jaderné elektrárny, Armádu ČR, automobilový a těžký průmysl. Dalšími významnými zákazníky jsou výrobci zařízení pro dráhy a dopravní společnosti, farmaceutický a potravinářský průmysl a v neposlední řadě i výrobci pohonů pro elektromobily.

Tým odborníků v ETC Prague dokáže zařízení nejen vyzkoušet, ale i navrhnout řešení pro zvýšení spolehlivosti, životnosti, účinnosti nebo výkonu.

Právě pro výjimečnost ETC Prague v evropském i světovém měřítku sídlí v jeho prostorách rovněž mezinárodní školicí centrum pro přípravu manažerů a servisních techniků.

Více informací na: www.etcprg.cz

JANKA RADOTÍN TRADIČNÍ VÝROBCE VZT JEDNOTEK, OVĚŘOVÁNÍ PARAMETRŮ A FACTORY TESTY PRO ZÁKAZNÍKY

Ing. Radka Čapková

JANKA Radotín a. s.

janka@janka.cz

Společnost JANKA Radotín a.s. je jedním z nejstarších výrobců vzduchotechnických a klimatizačních zařízení. Historie společnosti JANKA sahá až do roku 1872, kdy pan Jan Janka v Praze přihlásil k provozování klempířskou dílnu. Prostory v centru města časem přestaly rozvíjející se výrobě postačovat, a tak byl závod v roce 1907 přesunut do Radotína. Po druhé světové válce byl podnik znárodněn, rozšířen a svými výrobky zásoboval celý tehdejší východní blok. Porevoluční doba přinesla neklidné období plné zvratů, až v roce 1998 vstoupil do společnosti JANKA americký nadnárodní holding LENNOX. Dalším zahraničním vlastníkem se v roce 2009 stala indická společnost LLOYD ELECTRIC AND ENGINEERING Ltd. V roce 2018 se JANKA opět přesunula do českých rukou. JANKA Radotín patří do skupiny Multicraft Group, která sdružuje 24 firem především z oblasti strojírenství a energetiky. Nový český vlastník klade důraz na zachování vysoké míry autonomie a samostatnosti každého z členů skupiny. JANKA Radotín je výrobce vzduchotechnických a klimatizačních zařízení pro průmyslové, komerční a energetické aplikace, radiálních ventilátorů a unikátního průmyslového chlazení pro speciální technologie.

Dodávané výrobky lze rozdělit do těchto skupin:

- AHU – vzduchotechnické a klimatizační jednotky ve standardním provedení, pro speciální provozy v nevýbušném provedení, pro jaderné elektrárny v seizmické úpravě – dle požadavků zákazníků a kvalifikovaného prostředí.

Novinka od roku 2019:

Vzduchotechnické a klimatizační jednotky vč. dodávek MaR

Vzduchotechnické a klimatizační jednotky vč. dodávek ocelových konstrukcí

- FAN – ventilátory, v roce 2019 – nová řada ventilátorů RSP s vyšší účinností a dosažení vyšších maximálních tlaků oběžných kol, větší rozsah dopravovaného množství vzduchu
- ICL – průmyslové chlazení

Ve spolupráci s firmou Systemair je JANKA dodavatel:

- HVAC – zdrojů chladu

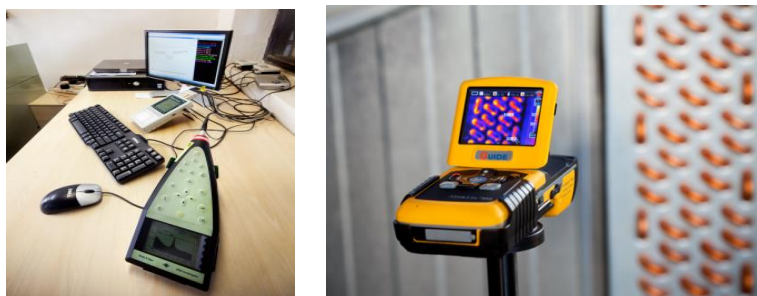
JANKA Radotín má dlouholeté zkušenosti s realizacemi nejrůznějších projektů a je podporována vlastním výzkumem, vývojem a výrobou. Toto umožňuje přizpůsobit výrobky plně požadavkům a potřebám zákazníka. Vývoj a kvalitu výrobků podporuje i vlastní plně vybavená zkušebna o rozloze 1 000 m², která slouží především pro vývoj nových zařízení. Její činnosti garantují správný chod všech nových výrobků a zároveň je zkušebna významným faktorem pro získávání nových zakázek, protože JANKA má bohaté zkušenosti s požadavky zákazníků na ověřování navržených a garantovaných parametrů vyráběných zařízení tzv. factory testy. Opakovaně realizujeme tyto požadavky pro finální dodavatele VZT pro automobilový průmysl.

Poslední realizovaný „FACTORY TEST“ bylo ověřování parametrů VZT jednotek pro výstavbu výrobního závodu Jaguar Land Rover Nitra. Cílem těchto testů bylo potvrzení jak technických vlastností, tak i mechanického provedení zařízení. Zákazníkem byla vybrána jednotka KLMOD 83, která měla vzduchový výkon 75.000 m³/h, byla v sestavě s rotačním regenerátorem v provedení nad sebou a na ní byly hodnoceny veškeré mechanické vlastnosti a ověřeny výkonové parametry. Na zkušebně byla postavena přívodní část jednotky. Při testování parametrů byly elektromotory ventilátorů napojeny na frekvenční měniče a jednotka osazena měřicími přístroji. Po jejich spuštění na nominální otáčky bylo pomocí regulačních klapek nasimulováno tlakové zatížení přívodní větve.

V tomto provozním stavu byly měřeny tyto technické parametry:

- okamžitý příkon elektromotoru
- vzduchový výkon, měřeno za pomoci anemometru
- specifický tlak na dýze ventilátoru (pro potřeby snímání vzduchového výkonu)
- těsnost opláštění jednotky

Jednotka KLMOD 83 ve všech měřených parametrech splnila parametry uváděné v technické specifikaci. Ověření parametrů bylo úspěšné, JANKA zakázku Land Rover Nitra získala, úspěšně dodala a provoz VZT jednotek pro výrobní závod naměřené parametry potvrdil a bez problému splňuje přísné požadavky koncového zákazníka.



Obr. 1 Přístroje pro měření parametrů VZT jednotek

Pro objekty, kde vzhledem ke speciálním provozním podmínkám musí být zajištěno kvalitní prostředí pro funkčnost technologií, ale zároveň musí splňovat hygienická nařízení pro jejich obsluhu, popř. pro návštěvníky těchto prostor, měříme a zkoušíme navrhované parametry našich zařízení, popř. jejich částí. Prověřujeme, zda naše výrobky mají odpovídající provozní náklady a důraz je i na jejich vysokou účinnost.

Zkušebna JANKY Radotín je určena nejen pro vlastní vývoj, ale lze prověřit či ověřit parametry i pro jakákoli jiná zařízení z oboru vzduchotechniky, jedná se o:

- měření charakteristik a účinností ventilátorů, ventilátorových komor, vytvoření katalogového listu z měření
- měření tlakové ztráty na straně vzduchu
- měření hluku, měření útlumu tlumičů
- měření vibrací až 10 režimů / v ose z

- měření těsnosti u vzduchovodu, popř. u VZT jednotky
- měření tepelných mostů u VZT zařízení
- měření průhybu panelů a tuhosti VZT zařízení (přetlak a podtlak)
- měření a ověření max. otáček u ventilátoru, možnost kamerového záznamu
- měření ZZT vč. teplotní a vlhkostní účinnosti, simulace deště sprchováním
- tepelný výkon ohřívачů ve 3 bodech (voda i vzduch), včetně tlakové ztráty ve 3 bodech (voda i vzduch)
- teplotní průběhy na povrchu výměníku pomocí termo kamery



Obr. 2 Podniková zkušebna JANKA Radotín

Průmyslové objekty vzhledem ke speciálním provozním podmínkám musí zajišťovat kvalitní prostředí pro funkčnost technologií i splňovat hygienická nařízení pro jejich obsluhu. Tyto požadavky přívodu vzduchu do požadovaných prostor, přiměřené provozní náklady a důraz na vysokou účinnost zařízení jsou rozhodujícími faktory pro zákazníka.

Příklady těchto typů realizovaných průmyslových staveb:

TPCA Kolín

realizace 2003-2004

BARUM Continental Otrokovice

realizace 2014-2015

počet VZT jednotek 22

celkové množství vzduchu 1 017 000 m³/h

MATADOR Continental Púchov

realizace 2008-2017

počet VZT jednotek 32

celkové množství vzduchu 1 600 000 m³/h

MOBIS LAMP SHOP CZ – Hyundai headlights

realizace 2016

počet VZT jednotek 42
celkové množství vzduchu 1 577 750 m³/h

JAGUAR LAND ROVER, Nitra

realizace 2017

počet VZT jednotek 47

celkové množství vzduchu 2 550 000 m³/h



Obr. 3 VZT jednotka JAGUAR LAND ROVER strojovna Nitra

CHLADIVOVÝ KLIMATIZAČNÍ SYSTÉM HAIER 5. GENERACE – MRV 5

Marek Begeni

SOKRA, s. r. o.

marek@sokra.cz

ANOTACE

Příspěvek popisuje výkonové a provozní vlastnosti chladivového klimatizačního systému Haier MRV 5 včetně jeho možných aplikací s praktickými ukázkami. Zmiňuje také vybrané konstrukční a provozní výhody tohoto systému a stručně vysvětluje možnosti řízení včetně některých volitelných vestavěných funkcí pro usnadnění provozu a servisní činnost.

ÚVOD

Začátkem roku 2018 představil výrobce společnost Haier světu jeden z předních klimatizačních systémů pracujících s proměnlivým průtokem chladiva, a to již svou 5. generaci nesoucí označení MRV 5 (Modulated Refrigerant Value). Od této doby si systém získal poměrně značnou oblibu na trhu a prošel doplněním o 3-trubkový systém a řadou technických vylepšení. Systém využívá pro plynulou regulaci výkonu, a to jak kompresorů, tak ventilátorů, digitální frekvenční měnič – známé jako „DC Inverter“. V současnosti jsou v modelové řadě MRV 5 dostupné 2 konstrukčně-funkční provedení, a to standardní 2-trubkový systém anebo systém 3-trubkový s rekuperací tepla umožňující současné chlazení a vytápění v jednom chladivovém okruhu.

2-TRUBKOVÝ SYSTÉM

Modelová řada se skládá z 10 základních modulů venkovních jednotek o chladicím výkonu 25,2 – 73,5 kW. Moduly jsou kombinovatelné až do sestavy 4 modulů o celkovém chladicím výkonu 294 kW. Velkou výhodou tohoto systému je již zmiňovaný výkon 73,5 kW pouze v jednom největším modulu, jehož půdorysná plocha je 1,05 m². Venkovní jednotky se vyznačují vysokou účinností např. SEER = 6,5 a SCOP = 4,65. Jsou navrženy pro provoz i v extrémních klimatických podmínkách v rozsahu teplot od -23 °C do + 50 °C. Nová konstrukce venkovních jednotek využívá 4 cestného výměníku chladivo / vzduch, který je rozdělen provozem do dvou stupňů. Tyto dva stupně jsou využívány při provozu pro vhodné řešení částečného zatížení a změny účinné plochy výměníku. Standardně jsou jednotky navrženy i pro vnitřní instalaci s možností napojení VZT potrubí pro odvod kondenzačního tepla při chlazení. Z tohoto důvodu je disponibilní tlak ventilátoru venkovní jednotky standardně 110 Pa.

Na systém je možné napojit jakoukoliv vnitřní jednotku z velmi široké modelové řady, která obsahuje 14 rozdílných modelů + 3 typy připojovacích boxů pro další použití. Mezi modely vnitřních jednotek je možné vybírat i ze speciálně upravených vestavných jednotek pro přívod čerstvého vzduchu anebo nových vestavných jednotek pro napojení na VZT potrubí s možností volby disponibilního tlaku v rozsahu 0 – 200 Pa. Tyto vnitřní jednotky mají konstantní průtok vzduchu v daném tlakovém rozsahu.

Nespornou výhodou je oproti konvenčnímu systému nová konstrukce a řízení vyrovnání hladiny oleje při modulárním zapojení venkovních jednotek. U běžných systémů je nutné jednotlivé moduly venkovních jednotek propojit potrubím, které zajistí vyrovnání hladiny (množství) oleje mezi jednotlivými moduly, jelikož při jejich rozdílném provozu se olej nevrací zpět rovnoměrně. U systému MRV je využit velmi účinný odlučovač oleje a speciální program zajišťující navrácení oleje do jednotlivých modulů, a tedy není zapotřebí propojovat moduly

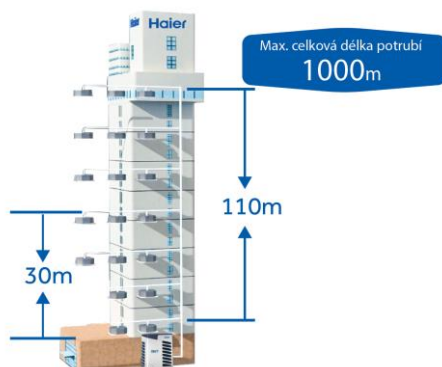
dalším potrubím pro vyrovnání hladiny oleje. Součástí tohoto systému je také několik přídavných teplotních čidel, které hlídají systém tak aby byl maximální provozuschopný.



Obr. 1 Vyobrazení modulů / jednotek systému Haier MRV 5 (vlevo modul do $Q_{chl} = 45 \text{ kW}$, uprostřed modul do $Q_{chl} = 73,5 \text{ kW}$, vpravo max. kombinace modulů $Q_{chl} = 294 \text{ kW}$)

Chladivové potrubí

Vzhledem k využívání vlastního moderního výzkumného centra, které bylo uvedeno do provozu v roce 2014, je možné systémy navrhovat a testovat na velmi dlouhé a složité potrubní vedení. Systém může pracovat s celkovou délkou chladivového potrubí až 1000 m, a to bez jakýchkoliv speciálních požadavků na provedení. Převýšení mezi venkovními a vnitřními jednotkami je standardně 50 m, ale je možné systém provozovat i s převýšením až 110 m (systém by bez problému obhospodařil nejvyšší budovu v ČR), nicméně u převýšení nad 50 m je nutné konzultovat provedení stoupacího potrubí.



Obr. 2 Převýšení a délka potrubní trasy systémů Haier MRV5

V případě dodržení základních principů dimenzování potrubní sítě, respektive vyvážení okruhu je možné také využít hodnotu 90 m mezi prvním rozbočovačem a nejvzdálenější vnitřní jednotkou. Tato hodnota bývá u konvenčních systémů (často se neuvádí v katalogích) 40 nebo 50 m.

Řízení, regulace a ovládání

Systém pracuje s plně automatickou autonomní regulací nové generace. Je navržen s důrazem pro maximální provozuschopnost. Vlivem již komplexního regulačního systému s řadou elektronických součástí vzniká v elektronickém rozvaděči jednotky často vysoká teplota vyzářením od komponentů. Proto systém využívá nuceného větrání dotčeného prostoru pro zajištění odpovídajícího odvodu tepla.

Další z hlavních předností systémů Haier MRV 5 je jeho konektivita a přizpůsobitelnost. Samozřejmostí je možnost systém ovládat celou řadou různých centrálních a místních ovladačů. Tyto ovladače se z pravidla u konvenčních systémů připojují přes různé komunikační / datové převodníky. U systému MRV5 tomu takto již není. Každá venkovní jednotka má již takový

komunikační / datový převodník implementovaný. Tento převodník umožňuje komunikovat s nadřazeným systémem regulace například protokolem **Modbus RS485**, Longate a samozřejmě s dostupnými centrálními ovladači. Součástí připojovací svorkovnice je také beznapěťový kontakt pro blokování provozu systému (například od systému EPS).

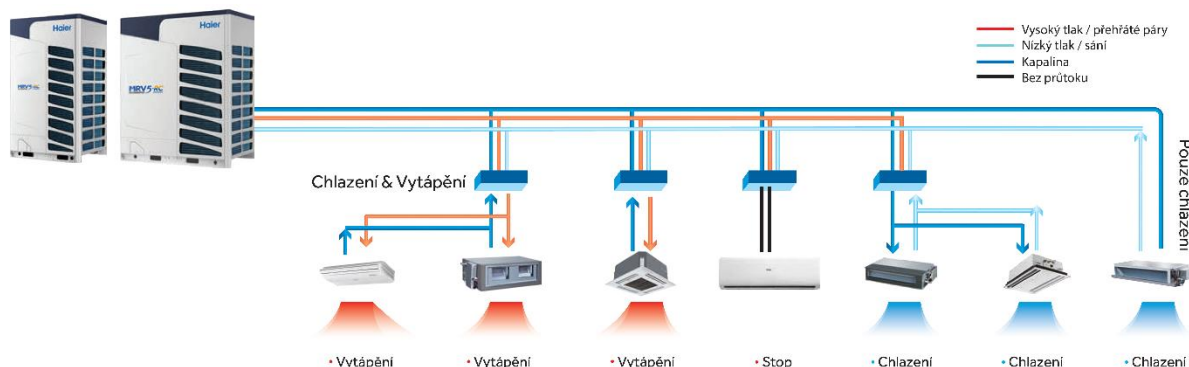
V rámci každého uvedeného do provozu by měl servisní technik systém správně nastavit dané aplikaci. Systémy MRV5 disponují novým unikátním servisním menu, ve kterém je možné například nastavit logiku provozu tichého režimu. K dispozici jsou 3 úrovně útlumu hluku (až – 16 dB) se dvěma možnostmi řízení. První možnost je taková, že útlum hluku bude platný vždy, když bude v menu nastaven. Druhá možnost je ovšem mnohem „chytřejší“ a je závislá na okolní teplotě. Například při chlazení, pokud bude venkovní teplota nižší než 29 °C, bude systém pracovat v přednastaveném útlumu. Pokud teplota stoupne, systém automaticky přejde do maximálního výkonu a priorita je dosažení vnitřního komfortního prostředí. U vytápění je to obdobné s rozhodnou teplotou 4 °C. Součástí tohoto menu je také například možnost využití automatického skupinového ovládání. V případě, kdy projektant řeší jednu velkou zónu, zpravidla využívá jednoho ovladače pro všechny vnitřní jednotky. V takovém případě je ovladač prokabelován s každou z vnitřních jednotek. V našem případě je možné nastavit, že při zapnutí jakékoliv vnitřní jednotky se ostatní vnitřní jednotky zapnou do stejného provozu a vytvoří se tak regulační skupina. Odpadají tak starosti s nastavením skupinových adres a kabeláží mezi jednotkami. Menu obsahuje celou řadu možných nastavení a obdobně tak samotná venkovní jednotka. V nastavení je možné provést velmi individuální přizpůsobení téměř každé aplikaci.

Servisní výhody

V rámci instalace a servisu bylo také pamatováno na co nejsnazší možná řešení jako např. - pro přístup k elektronice a připojovacím ventilům jsou jednotky vybaveny dveřmi atp. Pro servisní techniky je k dispozici monitorovací software, který po připojení PC k venkovní jednotce je schopen kompletně analyzovat a stáhnout provozní detailní data celého systému.

3-TRUBKOVÝ SYSTÉM

V porovnání se standardním 2-trubkovým systémem je provozní úspora u 3-trubkového systému přibližně 30 %. Samozřejmě tato úspora je platná pouze v případě, že je žádoucí v určitý provozní moment chladit a vytápět současně tedy například jsou instalovány 2 samostatné systémy.



Obr. 3 Typické provozní schéma 3-trubkového chladivového systému

MRV5-RC využívá vedení 3 potrubí mezi venkovní jednotkou a rozdělovacími boxy (VP boxy). Tyto boxy následně mají za úkol přepínat tok chladiva dle potřeby a nastavení vnitřních jednotek, které jsou propojeny již jen 2 trubkami. Tzn., že v rámci jedné skupiny vnitřních

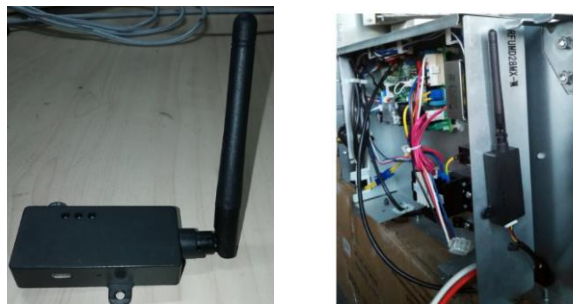
jednotek připojené na jeden box, může být vždy nastaven pouze režim chlazení anebo vytápění. Druhá provozní skupina připojená na další box může být již v odlišném provozu chlazení nebo vytápění. K dispozici jsou 4 modely ventilových boxů s maximálně připojitelným počtem 20 vnitřních jednotek a přeneseným výkonem menším než 45 kW.

Technické a provozní vlastnosti jsou totožné jako u 2-trubkového systému. 3-trubkový systém využívá stejnou konstrukci i základní regulaci. Maximální výkon v jednom modulu venkovní jednotky je ovšem 63 kW a max. kombinace 4 modulů venkovní jednotky je potom 252 kW.

BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE S VNITŘNÍMI JEDNOTKAMI

Jako jediný systém na trhu nabízí Haier MRV5 velmi unikátní řešení spočívající v bezdrátové komunikaci venkovních a vnitřních jednotek. To zejména u rozsáhlých projektů s množstvím vnitřních jednotek může zajistit velmi snadnou montáž a úsporu spočívající s instalací komunikačního kabelu, který bývá i 2 až 3 km dlouhý.

Základem bezdrátové komunikace je protokol ZigBee, kterým komunikují přijímače vnitřních jednotek s přijímačem / vysílačem venkovní jednotky.



Obr. 4 *Přijímač / vysílač bezdrátové komunikace - vlevo, možná instalační pozice přijímače / vysílače - vpravo*

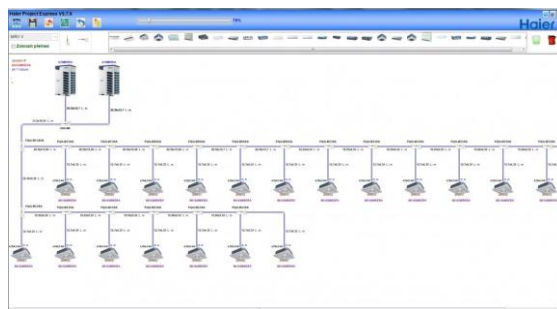
Znamená to tedy, že každá vnitřní jednotka musí být opatřena bezdrátovým přijímačem / vysílačem signálu a obdobně pak master venkovní jednotka. Samotná instalace bezdrátového systému má svá specifikace. Tak jako u běžných bezdrátových sítí, se kterými máme všichni hojné zkušenosti, i tento bezdrátový signál je ovlivňován okolím. Proto jsou k dispozici i tzv. opakovače / zesilovače signálu. Standardní dosah ve volné ploše mezi dvěma přijímači / vysílači je 100 m.

NÁVRHOVÝ SOFTWARE

Jelikož se jedná o systém, který musí být navržen správně, je k dispozici návrhový software v českém jazyce. Tento software je k dispozici online všem zdarma. V rámci práce se softwarem je možné stanovit různé provozní teploty a software přepočítá aktuální výkon systému. Hlídá zadané vzdálenosti potrubí, zdali jsou v limitních hodnotách a na jejich základech také přepočítává aktuální výkon systému, který se v závislosti na délkách potrubí mění.

Jako výstup ze software je možné získat kompletní zprávu o navrženém systému s výpisem materiálu ve formátu xls anebo například také schéma potrubního a kabelového zapojení v dxf

formátech. Nicméně je při návrhu samozřejmě možné využít plnou podporu naší kanceláře a o návrh požádat.



Obr. 5 *Obrazovky návrhového softwaru Haier project express*

VÝZNAMNÉ NOVINKY PRO ROK 2020

Jelikož Haier neustále pracuje na vývoji nových řešení a technologií bude i rok 2020 znamenat rok, kdy na trh představíme řadu novinek. V oblasti VRF systému MRV5 se bude především jednat o zcela novou modelovou řadu jednotek s vysokou energetickou účinností a s funkcí **nepřetržitého provozu vytápění při odtávacím cyklu** venkovní jednotky. Další novinkou bude uvedení řízených výměníků (**hydro-modulů**) pro napojení na 3-trubkový systém. V takovém případě se bude jednat o provozně velmi efektivní systém, kdy bude rekuperace tepla využívána při chlazení na přípravu / ohřev teplé vody. V době konání této konference jsou na trh uváděny také nové boxy vstřikovacích ventilů pro napojení na přímé výparníky VZT jednotky s možností plynulé regulace výkonu analogovým signálem 0 - 10 V.

ZÁVĚR

Každým rokem si systémy Haier MRV získávají větší a větší oblibu mezi investory, projektanty a instalačními firmami. V současné době je tržní podíl v daném segmentu odhadem 5 – 7 % a věříme, že díky našemu neustálému úsilí a maximální podpoře bude číslo růst. Níže uvádíme vybrané 3 realizované projekty 2018 / 2019. V době konání konference probíhá dodání / instalace několika dalších významných projektů o celkovém výkonu převyšujícím 300 kW.



Outlet Arena Moravia

$Q_{\text{celk}} = \text{cca } 1,3 \text{ MW}$



Pragolaktos, s.r.o.

$Q_{\text{celk}} = 113 \text{ kW}$



VP Strakonice

$Q_{\text{celk}} = 117 \text{ kW}$

Obr. 6 *Vybrané referenční projekty*

LITERATURA

[1] Firemní podklady Sokra, s. r. o.

SEZNAM OZNAČENÍ

Q_{celk}	celkový chladicí výkon	[kW]
Q_{chl}	nominální chladicí výkon	[kW]

EFEKTIVNÍ PROTIMRAZOVÁ OCHRANA VÝMĚNÍKU ZZT A VÝKONOVÁ REZERVA OHŘÍVAČE

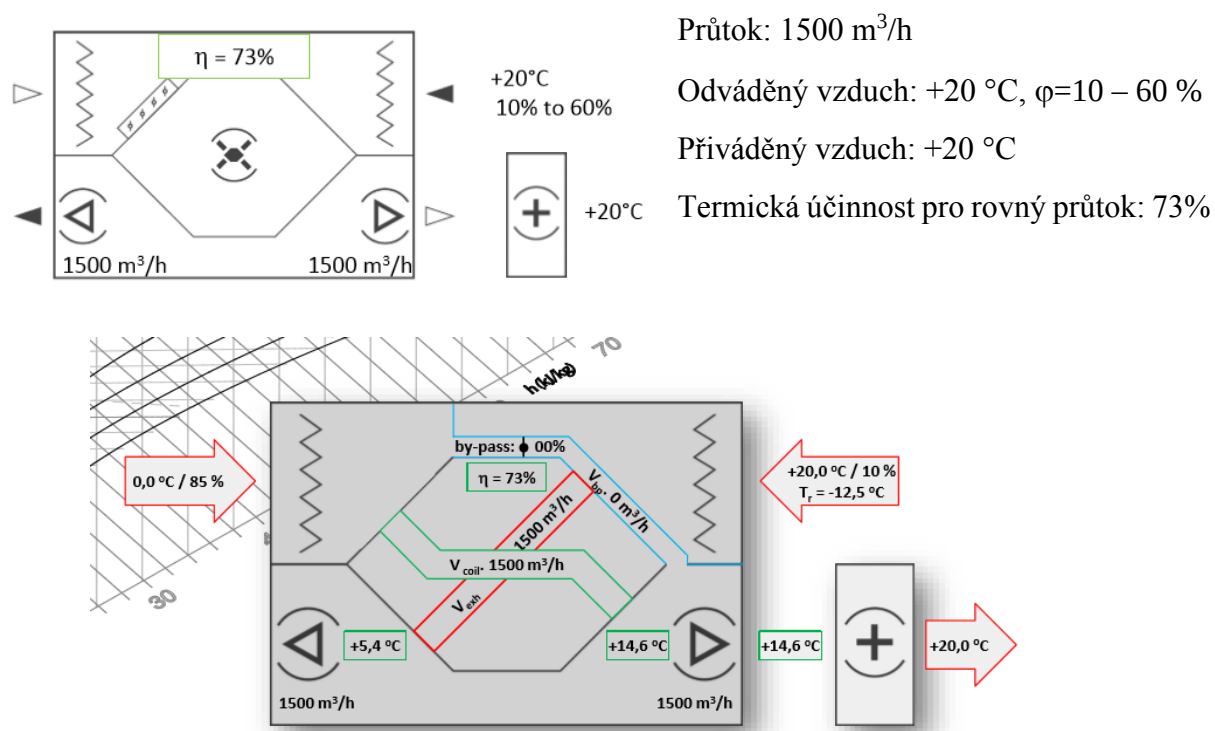
Ing. Petr Žemlička

VTs Czech Republic s.r.o.
petr.zemlicka@vtsgroup.com

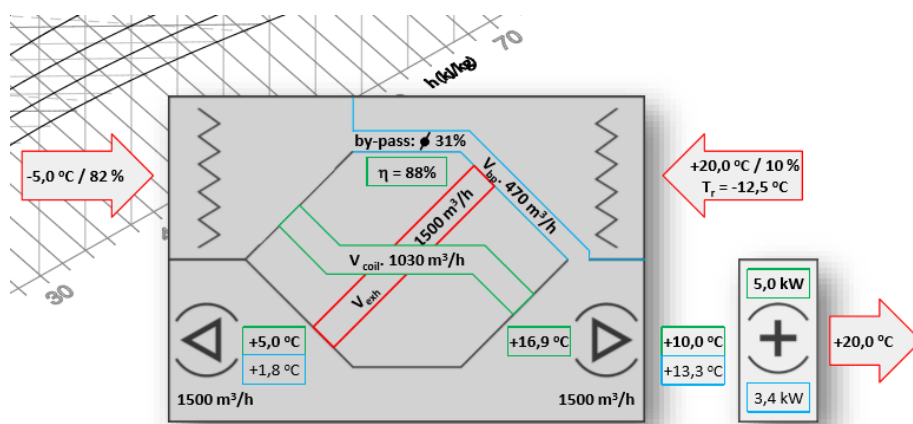
S rostoucí účinností výměníků zpětného zisku tepla narůstá riziko namrzání výměníku zpětného zisku energie. K namrzání dochází při venkovních teplotách pod bodem mrazu a při vysoké vlhkosti vzduchu. Vlivem námrazy dochází k negativnímu ovlivnění funkce výměníku a v krajním případě může dojít i k jeho poškození. Proto je nutné se otázkou jejich zamrzání zabývat. Všechna opatření proti zamrzání výměníků zpětného zisku energie snižují jejich účinnost a vypočtený výkon ohřevu nemusí být v zimním období dostatečný pro upravení vzduchu na požadovanou teplotu. Z tohoto důvodu se jako vhodnější volba ukazuje rotační výměník, který je méně citlivý na namrzání. Tato skutečnost je dána faktem, že namrzající část je otáčením rotoru přesunuta do odvodní části kde se odmrazí.

Pro následující příklad využijme protiproudý deskový výměník, jehož náchylnost k tvorbě námrazy bude velmi vysoká.

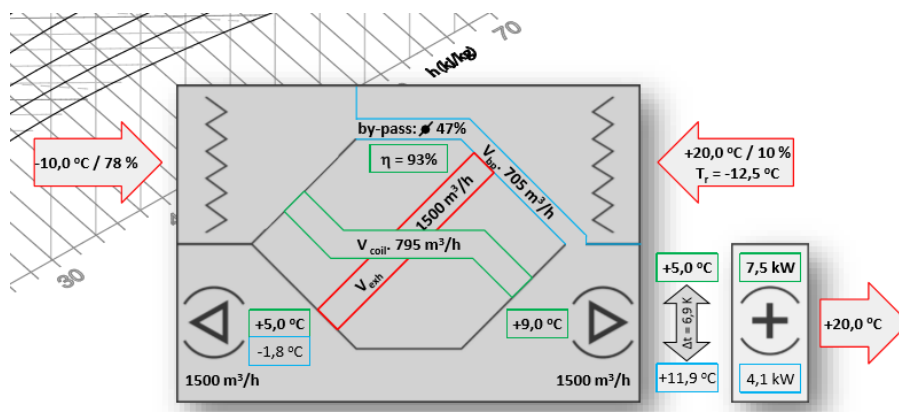
Uvažujme jednotku s následujícími parametry:



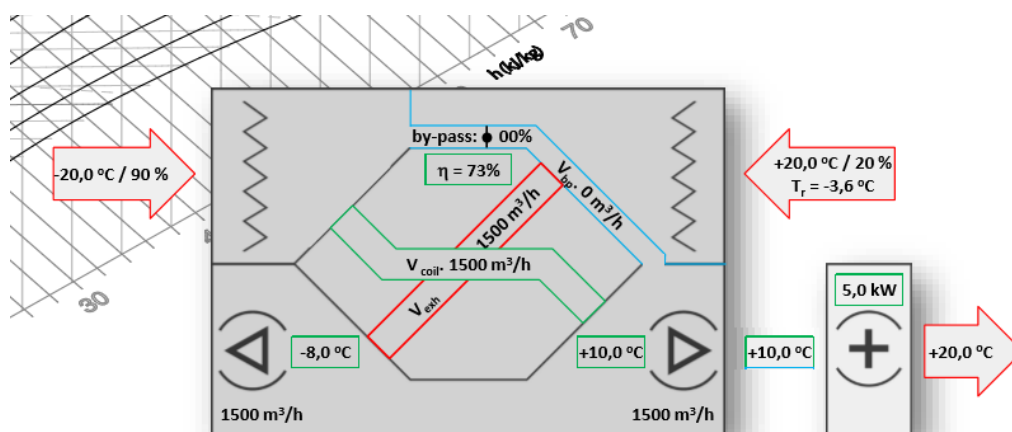
Při běžných aplikacích bývá nastavena teplota pro řízení protimrazové ochrany nastavena na 5 °C. Při teplotě odváděného vzduchu 20 °C, je teplota rosného bodu odváděného vzduchu - 12,5 °C. Tedy při těchto parametrech nedochází k namrzání výměníku zpětného zisku tepla, bypass je uzavřený. Za deskovým rekuperátorem je teplota přiváděného vzduchu + 14,6 °C a pro dohřátí vzduchu na požadovanou teplotu je potřeba 2,7 kW.



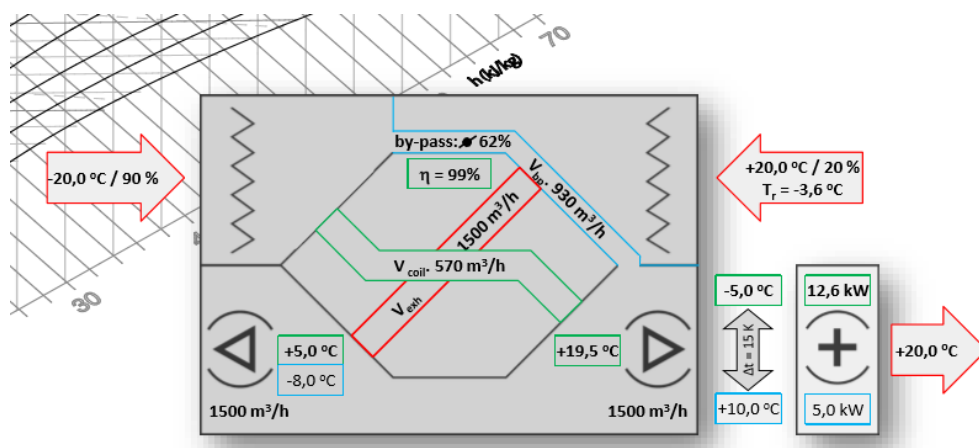
Při poklesu venkovní teploty na -5 °C a 82 % RH poklesne teplota za deskovým výměníkem na odvodu na hodnotu $+1,8\text{ °C}$. Dochází k vyhodnocení rizika tvorby námrazy na výměníku. Je vydán pokyn k otevření bypassu rekuperátoru na 31 % tak, aby teplota za rekuperátorem na odvodu dosáhla 5 °C . Teplota vzduchu před ohřívačem klesne na $+10\text{ °C}$ a k dohřátí vzduchu na požadovanou hodnotu je 5kW. Podíváme-li se na celou situaci z jiného pohledu, teplota za deskovým výměníkem je stále vyšší než 0 °C . Z tohoto důvodu k namrzání výměníku docházet nebude. Řídící systém je však nastaven na konstantní hodnotu teploty za deskovým výměníkem 5 °C . Vezmeme-li v úvahu tuto situaci a upravíme algoritmus tak, že teplota pro vyhodnocení nutnosti otevření by-passu bude závislá na teplotě rosného bodu odváděného vzduchu, bude teplota před ohřívačem vyšší o $3,3\text{ °C}$ a potřebný výkon k dohřátí vzduchu na 20 °C nižší o $1,6\text{ kW}$.



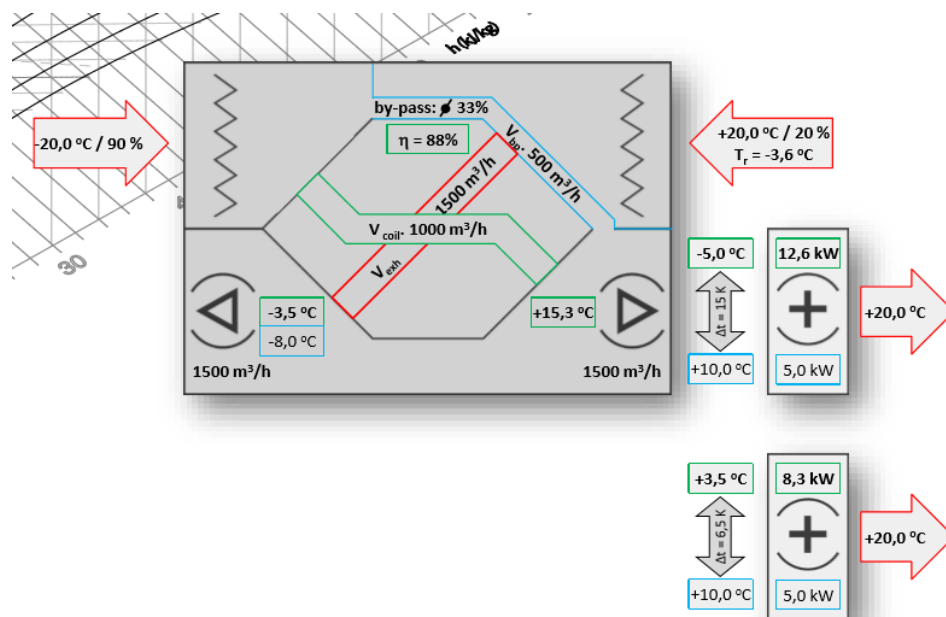
Budeme-li uvažovat vliv teploty rosného bodu na vznik námrazy na deskovém výměníku, námraza nebude vznikat ani při venkovní teplotě -10 °C a nezměněných parametrech vnitřního vzduchu. V tomto případě dojde k úspoře $3,4\text{ kW}$ při dohřevu vzduchu na požadovaných 20 °C .



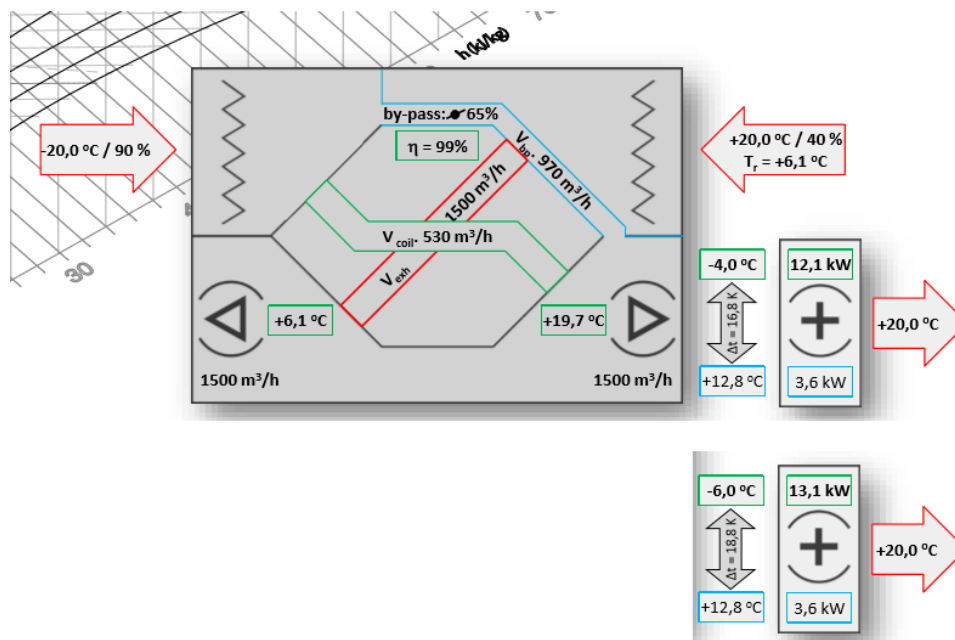
Při změně parametrů vnitřního i venkovního vzduchu na hodnoty dle obrázku výše dojde k posunu teploty rosného bodu u odváděného vzduchu. V tento okamžik začne kondenzovaná vzdušná vlhkost na výměníku namrzat.



Aby byl deskový výměník ochráněn proti zamrznutí dojde při standardních aplikacích k otevření by-passu tak, aby teplota za deskovým rekuperátorem dosáhla hodnoty $+5\text{ °C}$.



Otevřením by-passu dojde k poklesu teploty před ohřivačem na -5°C . Pro dohřátí vzduchu je tedy potřeba 12,6kW. Teplota rosného bodu odváděného vzduchu je v tomto případě $-3,6^{\circ}\text{C}$. Pokud tedy by-pass otevřeme tak, aby teplota vzduchu za výměníkem byla $-3,5^{\circ}\text{C}$, bude teplota přiváděného vzduchu $+3,5^{\circ}\text{C}$. Potřeba tepla pro dohřev vzduchu na požadovaných 20°C klesla na 8,3 kW



V okamžiku, kdy se relativní vlhkost na odvodu změní na 40 %, dojde ke změně teploty rosného bodu na $+6,1^{\circ}\text{C}$. Teplota odvodního vzduchu vystupujícího deskového výměníku je nižší než teplota rosného bodu. V tomto případě bude docházet ke kondenzaci a následnému namrzání výměníku. Pokud otevřeme by-pass tak aby teplota odváděného vzduchu za deskovým výměníkem byla $+5^{\circ}\text{C}$ (procento otevření 59 %) bude této teplota stále nižší než teplota rosného bodu. Bude tedy docházet ke kondenzaci a namrzání výměníku. Výkon potřebný pro dohřátí přiváděného vzduchu na 20°C bude 3,6kW.

Jako správné řešení se jeví otevření by-passu tak, aby teplota odváděného vzduchu za výměníkem byla rovna teplotě rosného bodu (procento otevření 65 %). Tím zamezíme kondenzaci a namrzání deskového výměníku. Výkon potřebný pro dohřátí přiváděného vzduchu na 20°C bude 13,1kW.

Závěrem lze říci, že při návrhu vzduchotechnické jednotky je vždy nutné dbát na dostatečnou rezervu ohřivače. Pokud rezerva na výměníku nebude, může v zimním období vlivem jednoduché funkce protimrazové ochrany dojít k vyřazení jednotky z provozu na dlouhou dobu. Z tohoto důvodu VTS využívá víceúrovňovou protimrazovou ochranu zpětného zisku tepla. Riziko namrzání výměníku ZZT je vyhodnocováno na základě teploty rosného bodu odváděného vzduchu z místnosti a teploty za výměníkem ZZT na výfuku z jednotky. Toto je nejjistější způsob ochrany před namrzáním výměníku, které v extrémním případě může deskový výměník nevratně poškodit.