

prof. Ing. Karel KABELE, CSc.
Ing. Zuzana VEVRKOVÁ, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra technických zařízení
budov

Analýza příčin stížností na kvalitu vnitřního vzduchu v bytovém domě s centrálním větráním

Analysis of Causes of Complaints about Indoor Air Quality in an Apartment Building with Central Ventilation

Recenzent
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

S postupným zpřísněním požadavků na energetickou náročnost budov vedoucích ke splnění cíle, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie, dochází mnohdy ke zhoršení kvality vnitřního prostředí, na což upozornilo již 29. července 2016 doporučení Komise (EU) 2016/1318 o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie (nZEB). Příspěvek se zaměřuje na problematiku jednoho z parametrů vnitřního prostředí, kterým je kvalita vnitřního vzduchu. Na novostavbě bytového domu s řízeným větráním v nZEB standardu nastiňuje možné příčiny vnímané zhoršené kvality vzduchu, ale i možné důsledky spjaté s výstavbou budov s téměř nulovou spotřebou energie v této oblasti.

Klíčová slova: nZEB, větrání, značkovací plyn

The quality of the indoor environment is often deteriorated with the gradually increasing requirements on the energy performance of buildings leading to the goal that by 2020 all new buildings will be in nearly zero-energy standard. The attention to this issue was already drawn on 29th July 2016 in Commission Recommendation (EU) 2016/1318 on guidelines for the support of nearly zero-energy buildings (nZEB). The paper focuses on one of the parameters of the indoor environment, which is the indoor air quality. It shows the example of a newly built nZEB residential building with controlled ventilation and outlines the possible causes of perceived deterioration of air quality but also the possible implications of building in the nearly zero-energy standard on this issue.

Keywords: nZEB, ventilation, tracing gas

ÚVOD

V dnešní době trávíme většinu svého života ve vnitřním prostředí budov, které jsou mnohdy velmi těsné (jejich těsnost často měříme tzv. blower-door testem) a prakticky neumožňují trvalé přirozené větrání [8]. V posledních letech jsou navíc v souvislosti se snižováním energetické náročnosti budov stávající objekty zateplovány a dveře a okna jsou téměř hermeticky utěšňovány. Vzhledem ke skutečnosti, že se prodloužila doba pobytu osob v uzavřených místnostech a člověk není biologicky uzpůsoben k životu v uzavřeném prostoru bez přívodu venkovního vzduchu a bez kontaktu s venkovním prostředím (možnost otevření okna), roste významně vliv vnitřního prostředí na zdraví a pohodu člověka a mění se vnímaná kvalita vnitřního prostředí, zejména pak vnímaná kvalita vnitřního vzduchu.

KVALITA VNITŘNÍHO VZDUCHU V BYTĚ S ŘÍZENÝM VĚTRÁNÍM

Jak již bylo zmíněno v úvodu, v souvislosti se snižováním energetické náročnosti a utěšňováním obálky budov je pro zajištění kvality vnitřního vzduchu jednou z možností vybavit nově postavené bytové domy centrálním řízeným větráním. Na příkladu novostavby bytového domu je možné pozorovat, jak se tato skutečnost může podílet na kvalitě vnitřního prostředí.

Jedná se o bytový dům se 6 podlažními (4 byty na patře), centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací, umístěnou na střeše objektu. Každý z bytů je připojen přes regulační box vybavený místním dohřevem vzduchu. Přívod vzduchu do obytných místností je zajištěn stěnovými výústkami umístěnými nade dveřmi, odvod znehodnoceného vzduchu je řešen v kuchyni, WC a koupelně přes talířové ventily (obr. 4). Průtok přiváděného vzduchu do jednotlivých místností je řízen elektricky ovládanými regulačními klapkami na základě časového rozvrhu, relativní vlhkosti vzduchu a koncentrace CO₂.

Aktuální požadavky na větrání obytných budov

V současné době jsou požadavky na větrání budov stanoveny normou ČSN EN 15665, změna Z1 [6], která požaduje trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu) s minimální, resp. doporučenou intenzitou větrání obytných místností. Jako pomocnou hodnotu uvádí minimální a doporučenou dávku venkovního vzduchu na osobu, viz tab. 1. V době, kdy obytné budovy nejsou dlouhodobě užívány, lze připustit provoz s nižší intenzitou větrání (0,1 h⁻¹).

Tab. 1 Průtok venkovního vzduchu pro trvalé větrání obytných místností ČSN EN 15665/Z1

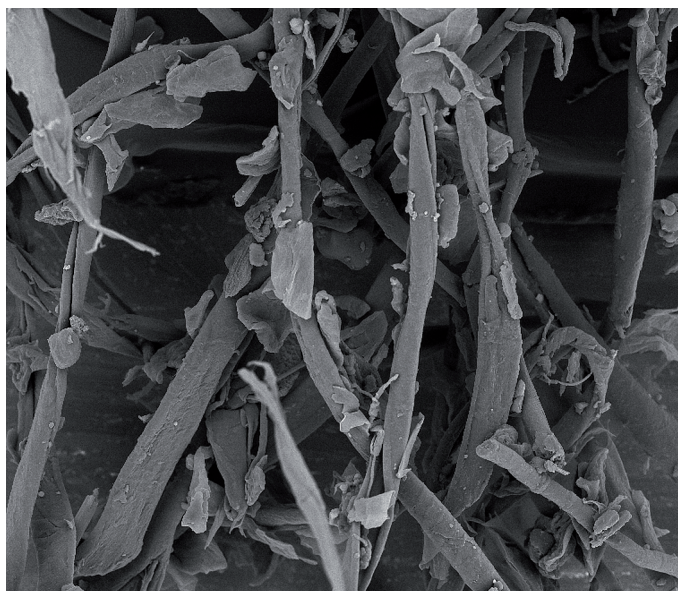
Tab. 1 Outdoor air flow for permanent ventilation of living rooms EN 15665/Z1

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)	
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /(h×os)]
Minimální hodnota	0,3	15
Doporučená hodnota	0,5	25

Stížnost č. 1 – „Řízené větrání zvyšuje prašnost v bytě“

Prvním zaznamenaným problémem byla extrémní prašnost, na kterou si stěžovali uživatelé jednoho bytu. Tento subjektivní vjem byl potvrzen jak nezávislou vizuální kontrolou, tak měřením koncentrace částic PM_{2,5}, PM₅ a PM₁₀. Naměřené hodnoty koncentrací pevných částic v interiéru převyšovaly běžné hodnoty ve venkovním ovzduší a uživatelé bytu vyjádřili své podezření, že „prach se určitě šíří ze vzduchotechniky“.

Následně byla provedena kontrola kvality přiváděného vzduchu a filtru ve vzduchotechnické jednotce a tato hypotéza se nepotvrdila – koncentrace prachových částic v přiváděném vzduchu byla výrazně nižší než ve vzdu-



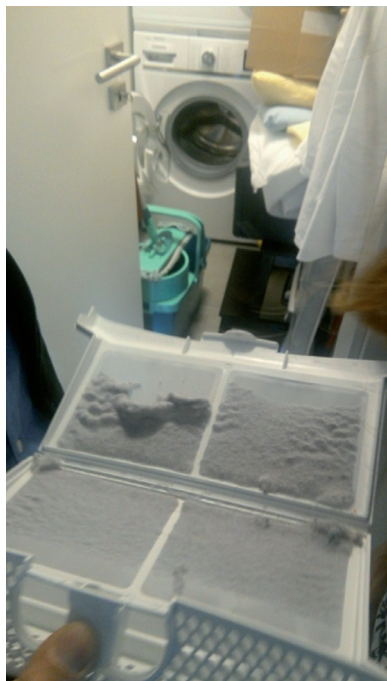
Obr. 1 Rozbor prachu elektronovou mikroskopií s rentgenovou analýzou [3]
Fig. 1 Dust analysis by electron microscopy with X-ray analysis [3]

chu v bytě. Následovalo hledání zdroje prachových částic uvnitř bytu. Při prohlídce pečlivě udržovaného bytu nebyl žádný viditelný zdroj nalezen, a tak dalším krokem byl rozbor odebraného prachu elektronovou mikroskopií s rentgenovou analýzou.

Tato analýza ukázala, že dominantní části vzorku prachu jsou vláknité struktury, které jsou podle infračervené analýzy tvořeny textilními vlákny v kombinaci bavlna-elastan (Cotton-Elastane) v poměru cca 92:8 hmotnostních procent (obr. 1). Tyto vláknité struktury pochází z oblečení, povlečení atd., méně pravděpodobně z koberců. Původcem a „viníkem“ zvýšené prašnosti v bytě byl nevyčištěný filtr sušičky prádla (obr. 2).

Tento příklad poukazuje na jeden závažný rys subjektivního vnímání kvality prostředí v moderních budovách, kde uživatel hledá příčinu své nespokojenosti primárně v technickém zařízení, které je součástí stavby, a obtížně připouští, že problém může způsobovat svou vlastní aktivitou. Současné se zde projevila u nás historicky zakořeněná nedůvěra

v bytové větrání, jejíž původ můžeme hledat v 60. letech minulého století, kdy byly systémy bytového větrání používány v objektech panelové výstavby a nebyla řešena jejich údržba.



Obr. 2 „Viník“ zvýšené prašnosti v bytě s řízeným větráním – nevyčištěný filtr sušičky prádla [3]
Fig. 2 “The source” of increased dustiness in an apartment with controlled ventilation – uncleaned filter of clothes dryer [3]

Fig. 2 “The source” of increased dustiness in an apartment with controlled ventilation – uncleaned filter of clothes dryer [3]

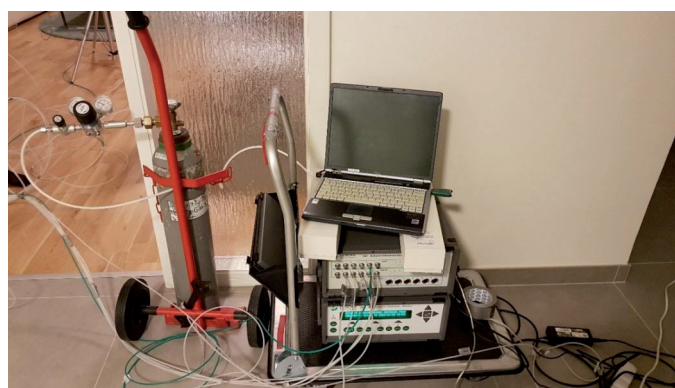
Stížnost č. 2 – „Větrání centrální vzduchotechnikou je nedostatečné“

Dalším problémem byla subjektivní, blíže nespecifikovaná nespokojenost s kvalitou vzduchu v obytných místnostech vyjádřená otázkou „...a větrá vůbec tento systém dostatečně?“

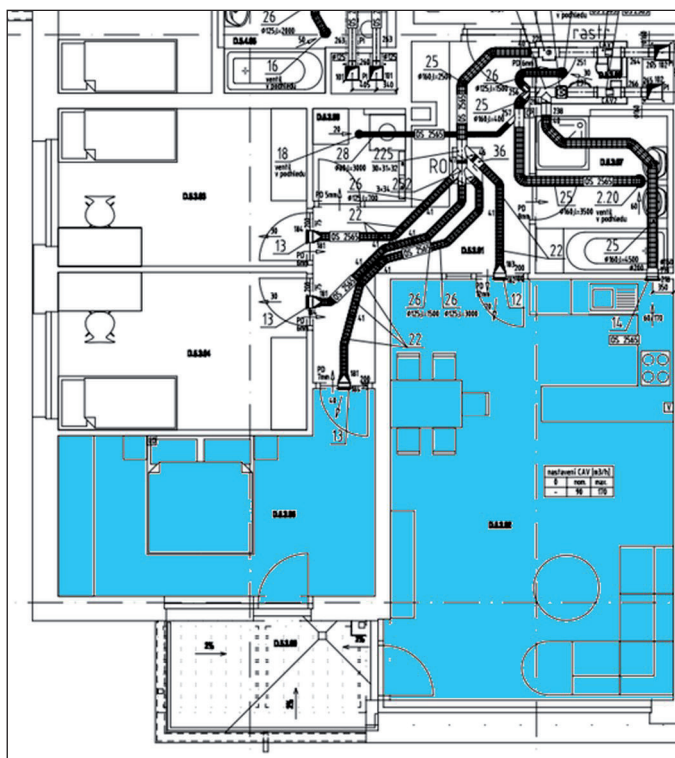
Ve dvou místnostech jednoho bytu byla stanovena intenzita větrání metodou měření poklesu koncentrace značkovacího plynu ve větraném prostoru. Při použití této metody je ve vzduchu měřené místnosti rozptýlen značkovací plyn v odpovídající koncentraci a je sledován pokles koncentrace tohoto plynu v důsledku větrání VZT systémem. Koncentrace plynů byla kontinuálně měřena fotoakustickým spektroskopem LumaSense Innova 1412i (obr. 3).

Z poklesu koncentrace značkovacího plynu byla stanovena intenzita větrání na základě vztahu:

$$C(\tau) = (C_0 - C_p)e^{-\lambda\tau} + C_p \quad [\text{ppm}]$$



Obr. 3 Fotoakustický spektroskop LumaSense Innova 1412i
Fig. 3 Photoacoustic spectroscope LumaSense Innova 1412i



Obr. 4 Půdorys bytu s vyznačením měřených místností
Fig. 4 Floor plan of the apartment with marking of the monitored rooms

kde je:

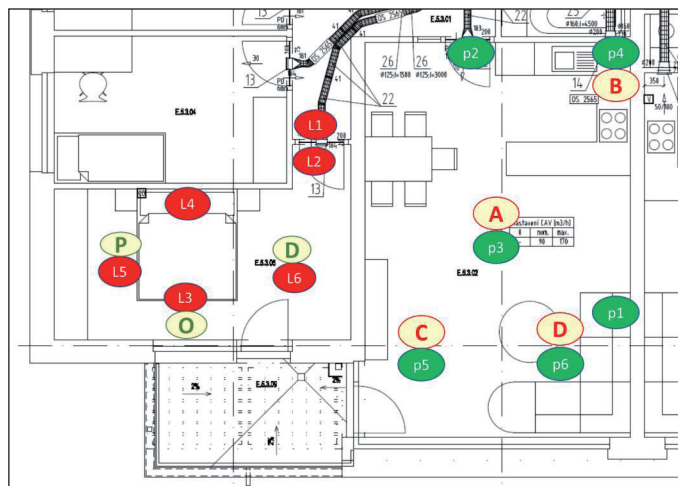
- $C(t)$ koncentrace značkovacího plynu v čase t [ppm],
- C_0 koncentrace značkovacího plynu na počátku měření [ppm],
- C_p koncentrace značkovacího plynu v přiváděném vzduchu [ppm],
- I intenzita výměny vzduchu v měřeném prostoru [$1/h$],
- τ čas [h].

Následnou iterací parametru I pro jednotlivé časové kroky měření je nalezena hodnota intenzity výměny vzduchu (v našem případě intenzita větrání) v měřené místnosti.

Měření probíhalo ve dvou místnostech bytu, v obývacím pokoji a v ložnici (obr. 4 – modře zvýrazněno), pro různé provozní stavy VZT jednotky. V době měření nebyl byt obýván. V obývacím pokoji i v ložnici je přívod vzduchu zajištěn obdélníkovou výústkou nad vstupními dveřmi do místnosti (100 % výkon VZT = 70 m³/h pro obývací pokoj a 40 m³/h pro ložnici). Odvod vzduchu je v obývacím pokoji řešen v prostoru kuchyňského koutu talířovým ventilem a v ložnici 7 mm štěrbinou pod dveřmi, která zajišťuje převod vzduchu k odsávacímu místu. V době měření byla všechna okna zavřena a teplota přiváděného vzduchu byla nastavena na 22,5 °C.

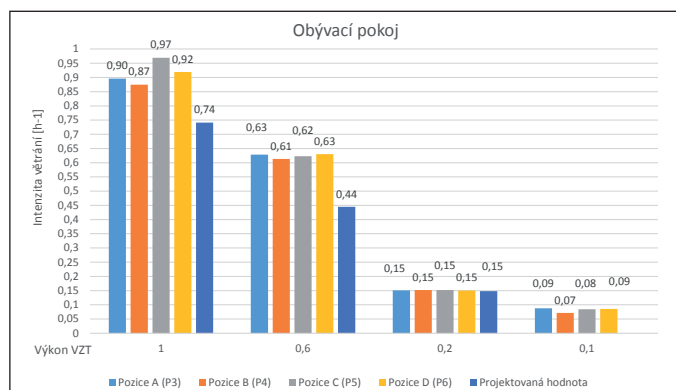
Měření bylo provedeno opakovaně (pro eliminaci vlivu okrajových podmínek) v obou místnostech bytu pro vybrané provozní stavy VZT jednotky v rozsahu 0 až 100 %.

Měření bylo realizováno vždy v několika bodech obou místností, viz obr. 5. V obývacím pokoji byly umístěny tři senzory ve výšce 110 cm nad pod-



Obr. 5 Poloha měřených bodů pro analýzu intenzity větrání v obývacím pokoji a v ložnici

Fig. 5 positioning of measuring points for analysis of ventilation intensity in living room and bedroom

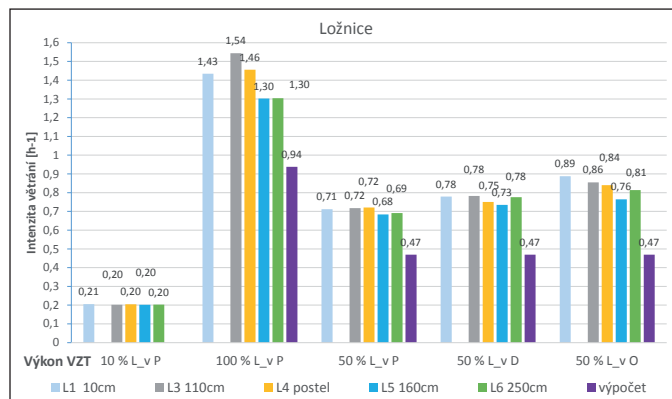


Obr. 6 Místní intenzita větrání v obývacím pokoji [2]

Fig. 6 Local ventilation intensity in the living room [2]

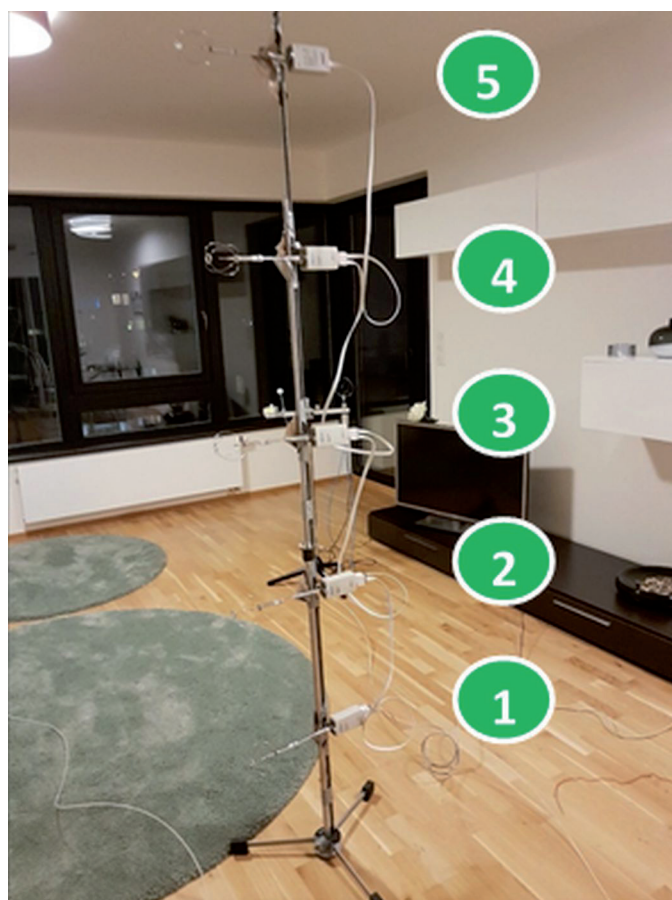
lahou (pozice A, C, D), jeden senzor v odváděném vzduchu (v talířovém ventilu pro odvod vzduchu z místnosti – pozice B) a jeden senzor byl umístěn do přívodu vzduchu do místnosti (výústka nade dveřmi); v ložnici byly senzory umístěny ve výšce 10 až 250 cm nad podlahou (pozice P, O, D), další senzor byl umístěn opět do přívodu vzduchu do místnosti a do odvodu vzduchu z místnosti (štěrbina pode dveřmi). Kontrolně byl senzor umístěn i do venkovního prostředí.

Na obr. 6 je přehled střední hodnoty naměřené místní intenzity větrání [h^{-1}] v obývacím pokoji v horizontální rovině ve výšce 110 cm nad podlahou (pozice A, C a D), včetně hodnot senzoru umístěného v odvodním otvoru (pozice B) a hodnoty celkové intenzity větrání vypočítané z projektovaného množství přiváděného vzduchu 70 m³/h (pro 100 % výkon jednotky). Na obr. 7 jsou zobrazeny střední hodnoty naměřené místní



Obr. 7 Intenzita větrání v ložnici [2]

Fig. 7 Ventilation intensity in the bedroom [2]



Obr. 8 systém AirDistSys 5000 s vyznačením měřících míst

Fig. 8 AirDistSys 5000 system with positioning of the measuring points

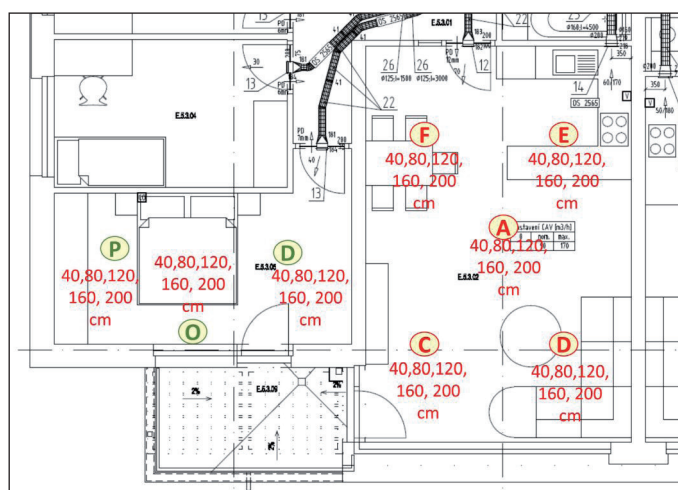
intenzity větrání [h^{-1}] v ložnici pro jednotlivé senzory umístěné na pozici P, O a D pro uvedené výšky nad podlahou a hodnoty celkové intenzity větrání vypočítané pro projektovaný průtok přiváděného vzduchu $40 \text{ m}^3/\text{hod}$ (100 %).

Porovnání projektovaných hodnot s naměřenými indikuje skutečnost, že VZT zařízení přivádí do místnosti větší množství vzduchu, než je deklarované v projektu. Iteračním výpočtem bylo stanoveno, že naměřené hodnoty intenzity větrání v obývacím pokoji odpovídají $88,4 \text{ m}^3/\text{h}$ přiváděného venkovního vzduchu, což je o 26 % více než v projektu uvedených $70 \text{ m}^3/\text{h}$, a v ložnici $57,8 \text{ m}^3/\text{h}$, což je o 44 % více než v projektu uvedených $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Analýza intenzity větrání ve dvou místnostech měřeného bytu provedená na základě vícebodového měření metodou měření poklesu koncentrace značkovacího plynu ve větraném prostoru za různých provozních stavů VZT prokázala, že při daném konstrukčním řešení a daném množství přiváděného vzduchu do obou místností je při provozu VZT v rozsahu 50 % až 100 % zajištěna dostatečná intenzita větrání. Intenzita větrání dokonce převyšuje doporučené hodnoty ($0,5 \text{ h}^{-1}$) dané normou ČSN EN 15 665/Z1.

Dalším krokem byla analýza obrazu proudění vzduchu v obývacím pokoji a ložnici měřeného bytu. Pro analýzu obrazu proudění byl použit systém AirDistSys 5000 (Air Distribution Measuring System), který umožňuje měření rychlosti proudění vzduchu v 5 bodech všesměrovými termoanemometry. Měřicí sondy byly rozmístěny na stojanu v pěti výškových úrovních 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm a 200 cm (viz obr. 8) v pěti bodech půdorysu obývacího pokoje (obr. 9) a ve třech bodech půdorysu ložnice (obr. 9). Kontinuálně měřená data se integrovala a ukládala s časovým krokem 2 s do připojeného počítače. Měření bylo provedeno opakovaně v obou místnostech bytu pro vybrané provozní stavy VZT jednotky v rozsahu 0 až 100 % a požadovaná teplota přiváděného vzduchu do místnosti byla nastavena $22,5^\circ\text{C}$.

Současně byla provedena orientační CFD analýza v prostředí simulačního softwaru DesignBuilder (CFD – Computational Fluid Dynamics). Analýza obrazu proudění v obývacím pokoji provedená na základě vícebodového měření a CFD počítačové simulace za různých provozních stavů VZT ukázala, že při daném konstrukčním řešení uspořádání přívodu nade dveřmi a odvodu vzduchu ve stejné stěně ovlivňuje obraz proudění přiváděcí mřížka. Při maximálním výkonu VZT byl dosah proudů s rychlostí vyšší než $0,1 \text{ m/s}$ téměř do celé hloubky místnosti. Proud vzduchu je přimknutý ke stropu (obr. 10) a podle CFD simulace



Obr. 9 Poloha měřicích bodů pro analýzu obrazu proudění vzduchu v obývacím pokoji (vlevo) a v ložnici (vpravo)

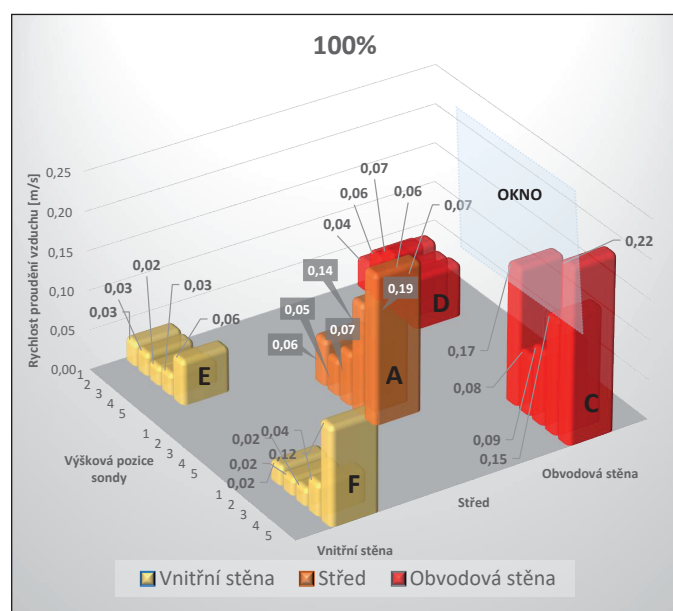
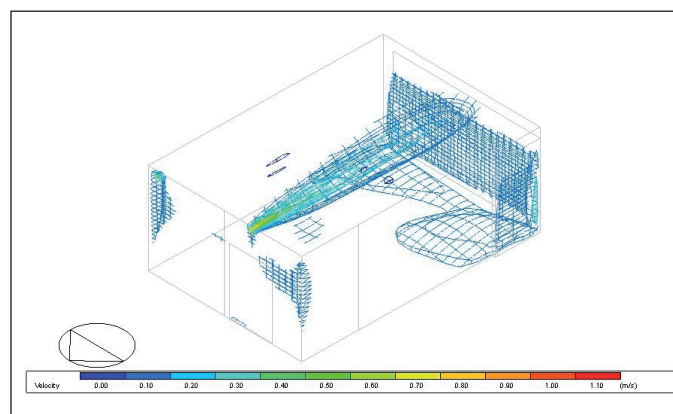
Fig. 9 Positioning of measuring points for airflow pattern analysis in living room (left) and bedroom (right)

a měření do pobytové zóny místnosti (tzn. cca do výšky 1,6 m) zasáhli v ose proudů přibližně v půlce místnosti. Ve zbytku prostoru se rychlosti pohybovaly do $0,1 \text{ m/s}$.

Při sníženém výkonu se obraz proudů v principu neměnil, pouze došlo ke zkrácení jeho dosahu a snížení rychlostí v celém prostoru. Měření i simulace prokázaly, že při výkonu VZT 100 % v prostoru u podlahy ve středu místnosti a blízkosti oken dochází ke zvýšenému proudění vzduchu. Při nižších výkonech jsou rychlosti v celém prostoru s výjimkou proudů v ose vyústky menší než $0,1 \text{ m/s}$, tzn. pro člověka téměř nevnímání a srovnatelné se stavem při vypnutí vzduchotechniky.

V prostoru ložnice, kde je odvod znehodnoceného vzduchu realizován šterbinou pode dveřmi, byl naměřen i simulací zjištěn obdobný charakter proudění vzduchu, tzn. v ose vyústky je ohraničený proud přimknutý ke stropu. Jeho dosah odpovídá nastavenému výkonu VZT: při 100 % dosahuje téměř k protilehlé stěně, zatímco při 20 % výkonu je jeho dosah v řádech desítek centimetrů od vyústky. V prostoru při podlaze se projevuje účinek konvektivního proudění z povrchu prosklených ploch, nicméně naměřené rychlosti jsou opět pod $0,1 \text{ m/s}$. Simulace ukázala charakter proudění vzduchu ve šterbině pode dveřmi, který se projevuje pouze v bezprostřední blízkosti šterbiny.

Měřením i CFD analýzou bylo zjištěno, že rychlosti v místnostech jsou minimální, resp. doporučenou intenzitu větrání bytu ($0,3 \text{ h}^{-1}$, resp. $0,5 \text{ h}^{-1}$)



Obr. 10 Měřené a simulované rychlosti proudění vzduchu [m/s] v obývacím pokoji při výkonu VZT = 100%

Fig. 10 Measured and simulated air flow velocities [m/s] in the living room at output of HVAC = 100%

dle ČSN EN 15665/Z1 [6] velmi nízké (v obývacím pokoji ve většině měřených bodů menší než 0,05 m/s, v ložnici jsou v těchto hodnotách i při intenzitě větrání 1 h⁻¹), a mohou být tudíž původcem vnímané nespokojenosti s kvalitou vzduchu.

Z provedených měření vyplývá, že požadavky normy jsou sice splněny, nicméně přesto jsou uživatelé nespokojeni. To může být zapříčiněno malými rychlostmi vzduchu proudícího v místnosti, ale též skutečností, že obraz proudění se značně liší od obrazu vytvářeného přirozeným větráním, na který byli uživatelé léta zvyklí a při němž akceptují venkovní vzduch více méně bez výhrad, přičemž u větrání nuceného mohou mít o kvalitě vzduchu přiváděného do místnosti VZT systémem pochybnosti. A do vnímané kvality vzduchu významně vstupuje očekávání a informovanost uživatelů.

ZÁVĚR

Budovy s nízkou energetickou náročností se chovají z hlediska vnitřního prostředí jinak než budovy tradiční a z reakcí uživatelů i objektivně zjištěných faktů lze vysledovat, že změny kvality vnitřního prostředí jsou vnímány a jsou důležitým ukazatelem ovlivňujícím uživatelskou hodnotu budovy. V budovách navržených s primárním důrazem na úspory energie je nutno ve zvýšené míře kontrolovat dodržení hygienických i komfortních požadavků u jednotlivých složek vnitřního prostředí, neboť tlak na úspory energie vede ve většině případů k minimalizaci přirozené interakce vnitřního a vnějšího prostředí. Mnohé funkce budovy, které probíhaly dříve bez zásahu člověka, jsou v moderních budovách s nízkou spotřebou energie eliminovány a nahrazují se technickými systémy sice s vysokou energetickou účinností, ale s negativním dopadem na kvalitu vnitřního prostředí. Problémy se nejčastěji objevují v budovách, které mají hermeticky uzavřené, neprodyšné obvodový plášť, místnosti s velkými prosklenými plochami, mechanické větrání a systémy klimatizace vzduchu, materiály a vybavení, z kterých se uvolňují různé druhy znečišťujících látek či prachu (tzn. nábytek, koberce,

jiné textilie), a kde chybí individuální regulace vnitřního prostředí (tzn. kontrola uživatelů nad větráním, vytápěním apod. je minimální), popř. je špatná organizace čištění prostor a údržba technických zařízení (výměna filtrů ve vřechotechnických zařízeních).

Kontakt na autory: kabele@fsv.cvut.cz, zuzana.veverkova@fsv.cvut.cz

Poděkování: Tato práce byla podpořena programem Competence Centres programme of the Technology Agency of the Czech Republic, projekt No. TE02000077 „Smart Regions – Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development“. Měření bylo prováděno v rámci společného projektu Katedry TZB Fakulty stavební ČVUT v Praze s firmami JRD s.r.o. a ATREA s.r.o.

Použité zdroje:

- [1] „Doporučení Komise (EU) 2016/1318 ze dne 29. července 2016 o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie a osvědčených postupů k zajištění, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie.“ [online]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32016H1318>
- [2] KABELE, K., VEVRKOVÁ, Z. *Analýza problematiky bytového větrání – stanovení intenzity větrání ve dvou místnostech vzorového bytu*. Závěrečná zpráva smluvního výzkumu. ČVUT 2018.
- [3] KABELE, K., VEVRKOVÁ, Z. *Analýza vybraných parametrů indikujících kvalitu vnitřního prostředí*. Závěrečná zpráva smluvního výzkumu. ČVUT 2017.
- [4] KABELE, K., VEVRKOVÁ, Z., URBAN, M. *Hodnocení kvality vnitřního prostředí v budovách s téměř nulovou spotřebou energie*. In: 22. konference Klimatizace a větrání 2017. Společnost pro techniku a prostředí 2014, str. 68–77. ISBN 978-80-02-02739-3.
- [5] KABELE, K., VEVRKOVÁ, Z. *Analýza obrazu proudění vzduchu ve dvou místnostech vzorového bytu*. Závěrečná zpráva smluvního výzkumu. ČVUT 2018.
- [6] ČSN EN 15665. *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. ÚNMZ Praha 2009, 2011.
- [8] ZMRHAL, V., DRKAL, F., ŠIMÁNEK, V. *Koncept větrání. Vytápění, větrání, instalace*. 2017, ročník 26, číslo 3, str. 170–172. 2017.

FGS

Požární větrací mřížka

- pro přívod i odvod vzduchu bez návaznosti na VZT potrubí
- vícedílné konstrukční provedení
- snadný servis díky vyjímatelnému tělu
- vyhotovení ruční nebo servopohonem
- konektor pro elektrické připojení kabelů
- barevné provedení dle požadavku
- požární klasifikace E90 až E120/EI30 až EI120/EW90 až EW120
- certifikovaný výrobek pro ČR

 **systemair**
www.systemair.cz

