

Ing. Petr ZELENSKÝ, Ph.D. ^{1),2)}
 Ing. Martin BARTÁK, Ph.D. ^{1),2)}
 doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D. ^{1),2)}
 Ing. Juraj MÁŽIK ³⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí

²⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky
 efektivních budov

³⁾ RECUAIR, s.r.o.

Recenzent
 Ing. arch. Martin Kny, Ph.D.

Vývoj malé kompaktní větrací jednotky s využitím CFD analýzy

Development of a Small Compact Ventilation Unit with Use of CFD Analysis

Zvýšení kvality vnitřního prostředí ve stávajících stavbách je jednou z priorit oboru techniky prostředí. Jedním ze způsobů je použití decentralizovaných jednotek pro místní větrání, které je možné instalovat do obývaných místností bez zásadních stavebních úprav. Řízeným větráním je pak zajištěn dostatek čerstvého vzduchu a vzniká zdravé a příjemné prostředí pro uživatele. Příspěvek demonstruje praktické využití CFD simulací při vývoji kompaktní větrací jednotky pro lokální větrání místností. Popisuje přípravu geometrie zařízení pro CFD simulaci, uvádí postup simulace včetně nastavení výpočtu a detailně rozebírá optimalizaci zařízení s využitím variantních numerických analýz. Studie je součástí projektu podpořeného EU v rámci Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Výstupem řešeného výzkumu je nový typ malé kompaktní větrací jednotky RECUAIR DC40 pro lokální větrání místností se schopností zpětného zisku tepla a vlhkosti. S přispěním CFD simulací bylo dosaženo zvýšení účinnosti zařízení a snížení jeho akustického výkonu při zachování kompaktních rozměrů.

Klíčová slova: CFD, kompaktní větrací jednotka, RECUAIR DC40, analýza, optimalizace

Improvement of the indoor environment quality in existing buildings is one of the priorities of HVAC Engineering. One option is to use decentralized units for local ventilation, which can be installed in inhabited rooms without major building modifications. Controlled ventilation then ensures delivery of sufficient amount of fresh air and at the same time creates a healthy and comfortable environment for occupants. The paper demonstrates the practical use of CFD simulations for the development of a compact ventilation unit for local ventilation of rooms. It describes the preparation of numerical model for CFD simulation, presents the approach to simulation, including the calculation settings, and discusses in detail the device optimization with the help of variant numerical analyses. The study is a part of a project supported by the EU under the Operational Program Enterprise and Innovation for Competitiveness. The output of the research is a new type of small compact ventilation unit RECUAIR DC40 for local ventilation of rooms with the heat and humidity recovery. An increase in the device efficiency and a reduction of its acoustic power were achieved, with the help of CFD simulations, while maintaining its compact dimensions.

Keywords: CFD, compact ventilation unit, RECUAIR DC40, analysis, optimization

ÚVOD

Na ČVUT v Praze probíhal ve spolupráci s firmou RECUAIR dvouletý výzkumný projekt zaměřený na vývoj malé kompaktní větrací jednotky



RECUAIR DC40 pro lokální větrání místností, viz obr. 1. Jedná se o kompaktní samostatně instalovanou bezpotrubní větrací jednotku se zpětným získáváním tepla a vlhkosti bez odvodu kondenzátu. Pohledová část jednotky (obr. 1 vlevo) je umístěna na vnitřní stěně místnosti a obsahuje přívodní a odvodní ventilátor, filtry vzduchu a řídicí elektroniku jednotky. Válec o průměru 260 mm na zadní straně jednotky (obr. 1 vpravo) prochází obvodovou stěnou objektu a ústí na fasádu. Ve válci je umístěn otočný rekuperační výměník poháněný servopohonem, který se otáčí o 180° v intervalech stanovených podle teploty venkovního vzduchu. Zajišťuje se tím střídavé proudění znehodnoceného odpadního a čerst-



Obr. 1 Kompaktní větrací jednotka s rekuperací tepla RECUAIR DC40: vlevo – pohledová část; vpravo – detail průchodu stěnou (válec s výměníkem) [1]

Fig. 1 Compact ventilation unit with heat recovery RECUAIR DC40: left – visible part; right – passage through the wall (cylinder with heat exchanger) [1]

vého venkovního vzduchu přes kanálky výměníku. Jednotka díky tomu zabraňuje námraze výměníku a celoročně umožňuje dosahovat vysoké účinnosti zpětného získávání tepla a vlhkosti.

V rámci projektu byla realizována studie proudění vzduchu ve složitém systému přívodního a odvodního vzduchovodu větrací jednotky, a to s využitím počítačové mechaniky tekutin – CFD (Computational Fluid Dynamics). CFD simulace poskytuje hodnoty tlaku, rychlosti, intenzity turbulence a dalších veličin na síti výpočetních buněk (kontrolních objemů), na které je rozdělena oblast, v níž se provádí výpočet proudění. Motivací pro použití této metody bylo snížení nákladů na vývoj, výrobu i provoz zařízení. Možnost získat jinak nedostupné informace a relativně snadná dostupnost variantních řešení umožnila zvýšit účinnost a kvalitu zařízení a snížit generovaný hluk.

Výsledky počítačové analýzy jednotky RECUAIR DC40 indikovaly rychlostní a tlaková pole vzduchu proudícího jednotkou a sloužily jako zpětná vazba konstrukčnímu týmu firmy RECUAIR při vývoji a optimalizaci prototypu zařízení. Simulační analýza proudění poskytla podklady pro změny vnitřního uspořádání jednotky, jejichž účelem bylo minimalizovat vznik místních tlakových ztrát a možných zdrojů hluku. Cílem projektu bylo navrhnout konstrukční řešení přinášející vyšší energetickou účinnost a nižší akustický výkon generovaný zařízením, s přihlédnutím k zachování velmi kompaktních rozměrů jednotky. Numerická studie pomocí CFD simulací popsaná v tomto článku byla doprovázena měřením hluku v akustické laboratoři a měřením výkonu v laboratorních podmínkách.

VÝPOČETNÍ MODEL VĚTRACÍ JEDNOTKY

Podkladem pro výpočetní model byla 3D geometrie zařízení poskytnutá konstrukčním týmem RECUAIR, viz obr. 2. Konstrukční geometrie z programu Autodesk Inventor byla převedena do univerzálního formátu „step“ a následně importována do software SpaceClaim. Tento software umožňuje úpravu a zjednodušení geometrie pro účely numerického modelování. Technickou specifikaci větrací jednotky uvádí tab. 1.

Při numerické analýze bylo iterativně postupováno dle pracovního postupu, který může být stručně shrnut do následujících bodů:

1. importování CAD geometrie modelu zařízení od konstrukčního týmu RECUAIR do softwaru ANSYS Space Claim,
2. příprava geometrie modelu pro vytvoření výpočetní sítě (software: Space Claim),



Obr. 2 Konstrukční geometrie větrací jednotky DC40

Fig. 2 Construction geometry of the DC40 ventilation unit

Tab. 1 Technické specifikace větrací jednotky RECUAIR DC40

Tab. 1 Technical specifications of the ventilation unit RECUAIR DC40

Průtok vzduchu	15 – 45 m ³ /h
Účinnost zpětného získávání tepla	88 – 94 %
Účinnost zpětného získávání vlhkosti	< 90 %
Filtr na čerstvý vzduch	G4 nebo M5 s aktivním uhlím
Rozměry	
Vnější jednotka	455 × 425 × 105 mm
Tubus	Ø 260 mm

3. vytvoření výpočetní sítě (software: ANSYS Fluent Meshing),
4. CFD simulace proudění vzduchu v zařízení (software: ANSYS Fluent),
5. diskuze a analýza výsledků společně s konstrukčním týmem RECUAIR,
6. návrh optimalizace konstrukčního řešení zařízení,
7. CFD analýza optimalizované geometrie (opakování kroků 1 až 6).

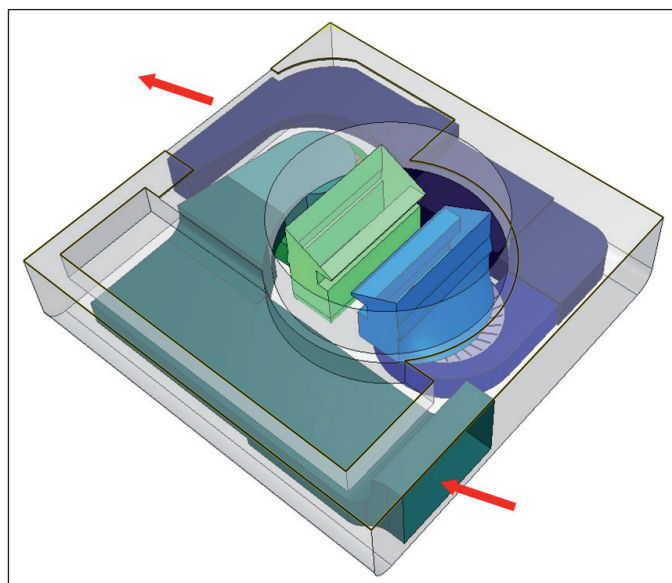
Příprava geometrického modelu pro CFD simulaci

Po kontrole kvality získané geometrie a opravě jejich dílčích chyb (korekce polohy kolidujících těles) byla provedena následující zjednodušení, u kterých se předpokládá minimální vliv na proudění ve větrací jednotce (upravená geometrie je zobrazena na obr. 3):

- vyplnění otvorů pro spojovací materiál na povrchu zařízení,
- odstranění technologických vybrání materiálu na povrchu zařízení,
- odstranění válcového tělesa výměníku tepla – vliv výměníku tepla byl v simulaci aproximován okrajovou podmínkou,
- odstranění překrývajících se ploch,
- odstranění malých plošek z vnitřních povrchů vzduchovodů,
- zjednodušení geometrie zakřivených vnitřních povrchů vzduchovodů.

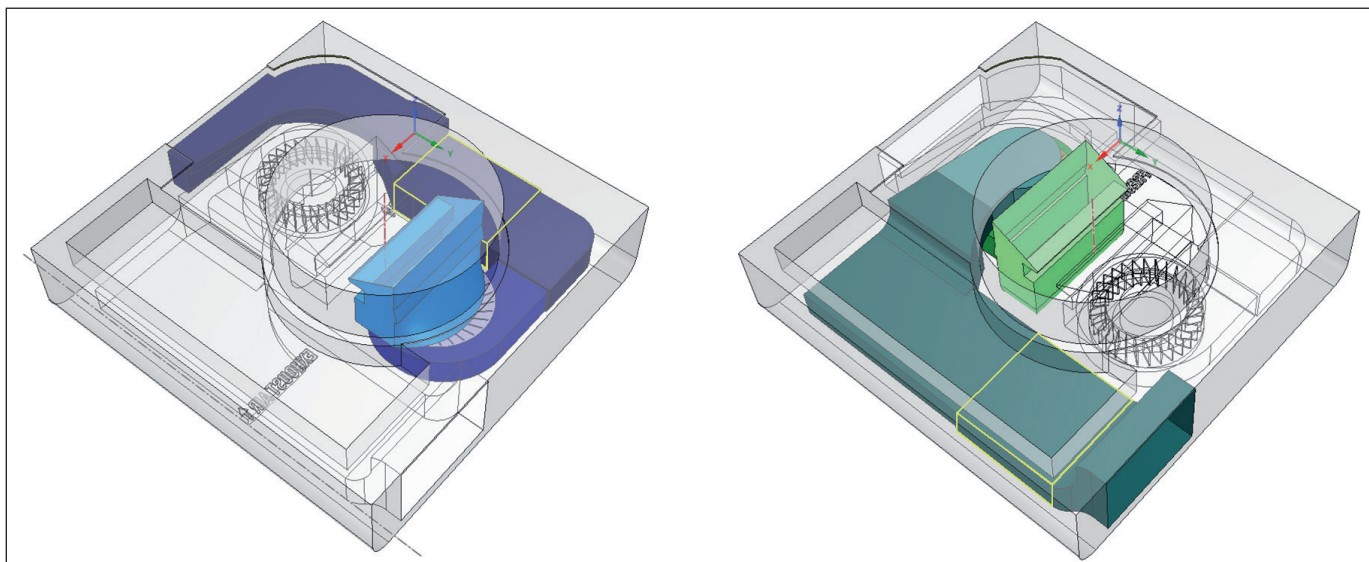
Geometrie vzduchovodů pro přívod a odvod vzduchu je kvůli kompaktnímu rozměru a akustickým vlastnostem jednotky relativně složitá, viz obr. 3. Přívodní vzduch je nasáván na fasádě a prochází výměníkem tepla skrz zeď objektu. Dále proudí malým radiálním ventilátorem a je přívodním vzduchovodem obsahujícím filtr vzduchu dále veden do místnosti. Odpadní vzduch z místnosti je nasáván do jednotky z opačné strany zařízení, než je umístěn přívod do místnosti. Odpadní vzduch prochází odvodním vzduchovodem s filtrací a dále proudí přes ventilátor do tubusu rekuperačního výměníku, kde předává svůj tepelný potenciál přívodnímu vzduchu. Po průchodu rekuperačním výměníkem je odpadní vzduch odveden přes fasádní mřížku do venkovního prostředí.

Předmětem počítačové analýzy je analýza proudění vzduchu v přívodním a odvodním vzduchovodu větrací jednotky (viz obr. 4 vlevo, resp. vpravo), včetně proudění rotujícími radiálními ventilátory a filtry vzduchu. Vzduchovody mají unikátní tvarování pro zachování minimálních rozměrů jednotky a zároveň dosažení dostatečného útlumu hluku (v některých částech jsou jejich stěny obloženy zvukově izolačním materiálem). Oblasti s filtry jsou na obr. 4 vyznačeny žlutými obrysy. Numerická studie proudění ve vzduchovodech indikuje kritická místa, kde může docházet k lokálnímu zvýšení rychlosti a k hrozbě zvýšeného aerodynamického hluku.



Obr. 3 Geometrie větrací jednotky upravená pro CFD simulaci

Fig. 3 Ventilation unit geometry adapted for CFD simulation



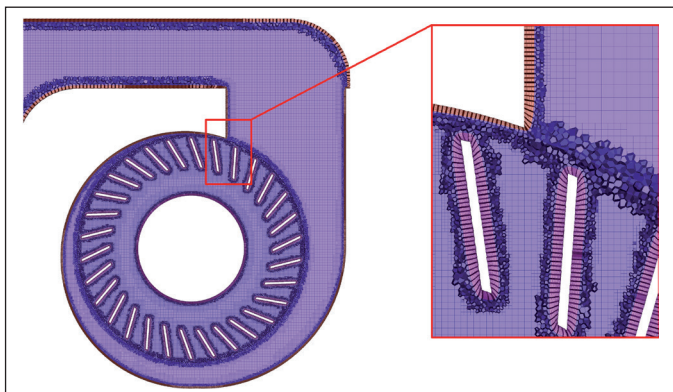
Obr. 4 Geometrie přívodního (vlevo) a odvodního (vpravo) vzduchovodu; oblasti s filtry ohraničeny žlutou barvou
 Fig. 4 Inlet (left) and outlet (right) channel geometry; domains with filters marked by yellow line

Tvorba výpočetní sítě

CFD simulace jsou většinou založeny na metodě konečných objemů, tj. na rozdělení zkoumané oblasti na velké množství na sebe navazujících kontrolních objemů a následně řešení rovnic zachování hmoty, hybnosti a energie pro každý z nich. Kvalita sítě buněk, na které je rozdělena výpočetní oblast, významně ovlivňuje konvergenci výpočtu a přesnost a správnost výsledků. Proto je tvorbě výpočetní sítě nutné věnovat velkou pozornost. Více o současných možnostech tvorby výpočetní sítě zmiňuje článek Zelenský et al. [2].

Geometrie přívodního a odvodního vzduchovodu kompaktní jednotky DC40 upravená pro účely CFD simulace byla importována do softwaru ANSYS Fluent Meshing. Objemový model zařízení byl automaticky převeden na soubor ploch a následně zasítován povrchovou sítí na základě parametrů zadaných uživatelem. Tato povrchová síť je tvořena trojúhelníky, které slouží jako podklad pro generování objemové sítě, která diskretizuje prostor řešené úlohy.

Každý ze vzduchovodů byl síťován a následně simulován zvlášť (proudění ve vzduchovodech se vzájemně neovlivňuje). Byla zvolena hybridní objemová síť, která kombinuje hexagonální buňky v prostoru s polyedrálními buňkami v blízkosti stěn. Maximální rozměr výpočetních buněk byl globálně nastaven na 2 mm, avšak v kritických místech pro výpočet (např. prostor radiálních ventilátorů, prostor u stěn atd.) bylo obecně nastavení velikosti buněk manuálně korigováno k zajištění jemnější



Obr. 5 Výpočetní síť CFD simulace
 Fig. 5 Computational mesh of the CFD simulation

sítě pro výpočet. Nejmenší rozměr buňky byl 0,2 mm. Objemová síť byla doplněna zhuštěnou „prizmatickou“ vrstvou o výšce 10 buněk na lopatkách ventilátoru a o výšce 6 buněk na površích radiálních skříní a u stěn vzduchovodů. Viz např. obr. 5. Konečná síť má v případě přívodního vzduchovodu $6,5 \cdot 10^6$ výpočetních buněk a v případě odvodního vzduchovodu $8,3 \cdot 10^6$ výpočetních buněk.

CFD SIMULACE PROUDĚNÍ VE VĚTRACÍ JEDNOTCE

Nastavení výpočetního modelu

Simulace metodou CFD byly provedeny v programu ANSYS Fluent 19.0. Úlohy byly řešeny pro izotermické proudění nestlačitelného vzduchu s modelem turbulence typu $k-\varepsilon$ podle Shiha et al. [3] ($k-\varepsilon$ Realizable), v němž byly zahrnuty korekce na tlakový gradient. Proudění u stěn bylo simulováno metodou *Enhanced Wall Treatment* [4]. Pro diskretizaci rovnice tlaku bylo zvoleno schéma PRESTO!, které manuál [4] doporučuje pro simulaci rotačních strojů. Pro konvektivní členy řešených rovnic bylo zvoleno protiproudé schéma druhého řádu a pro propojení tlakového a rychlostního pole v pohybových rovnicích posloužil algoritmus SIMPLE. Rotace oběžného kola byla aproximována metodou MRF, která provádí výpočet proudění ventilátorem v jediném okamžiku a jediné poloze oběžného kola. Vliv rotace kola je aproximován předepsáním Coriolisovy a odstředivé síly do stanovené objemové oblasti úlohy, která obsahuje rotační část zařízení. Výsledkem je stacionární obraz proudění v simulovaném prostoru.

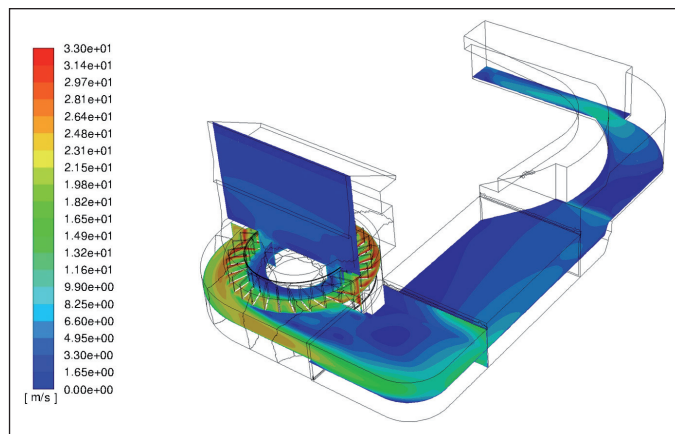
Tlaková ztráta výměníku tepla byla vypočítána na základě podkladů dodaných výrobcem výměníku (v prototypu zařízení byl použit výměník RecAir RS220 [5]). Tato tlaková ztráta byla předepsána jako okrajová podmínka na vstupu do přívodního vzduchovodu a na výstupu z vzduchovodu odvodního. Tlaková ztráta filtrů pevných částic byla v simulaci aproximována porézní vrstvou. Charakteristika porézního prvku byla nastavena na základě podkladů od výrobce filtrů. K předepsání charakteristiky do výpočetní úlohy byl využit softwarový doplněk PorZo [6], uživatelské rozšíření softwaru Fluent (tzv. ANSYS Customization Toolkit – ACT), který poskytuje přehledné rozhraní pro nastavení tlakových odporů ve výpočetních úlohách.

Simulace byla provedena pro jeden pracovní stav zařízení při požadovaném průtoku vzduchu $45 \text{ m}^3/\text{h}$ oběma vzduchovody a tlakové ztrátě

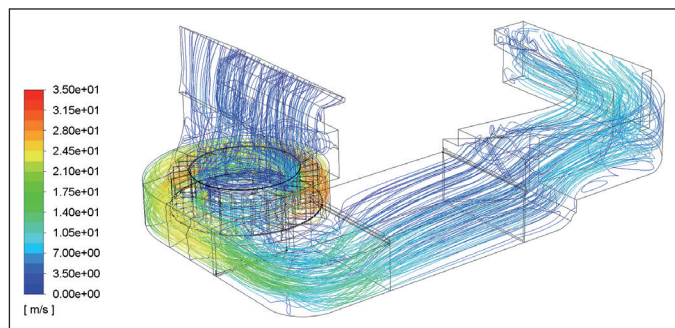
výměníku tepla 112,5 Pa. Tomuto pracovnímu bodu odpovídají otáčky ventilátorů 3 920 ot/min. Z důvodu komplikovaného tvaru vzduchovodů byla celá úloha rozdělena na dvě samostatné úlohy: simulaci přívodního vzduchovodu a simulaci odvodního vzduchovodu.

Simulace proudění v přívodním vzduchovodu

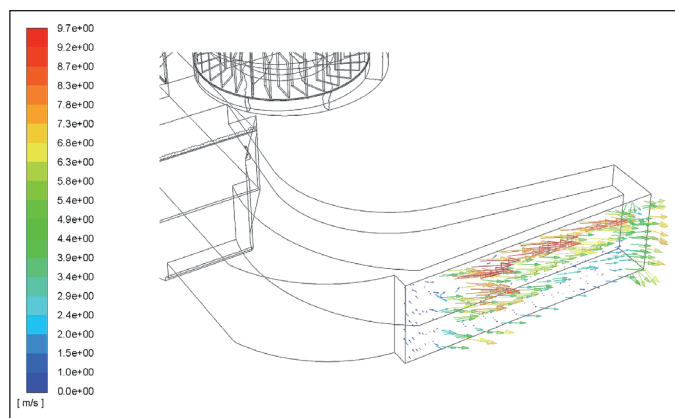
Na obr. 6 jsou zobrazeny isoplochy rychlostního pole pro přívodní vzduchovod. Rychlost vzduchu na obvodu ventilátorového kola dosahuje hodnoty až 33 m/s, rychlosti ve vzduchovodu jsou v rozmezí od 1,5 do 12 m/s. Vyšší rychlosti mohou být pozorovány především v ohybu vzduchovodu za ventilátorem a v místě zúžení průtočného průřezu vzduchovodu před jeho vyústěním do místnosti. Z obr. 7 je patrná neuspořádanost trajektorií proudu vzduchu v ohybu za ventilátorem (ohyb



Obr. 6 Výsledky simulace proudění v přívodním vzduchovodu – isoplochy rychlosti
Fig. 6 Simulation results of airflow in inlet channel – velocity isosurfaces

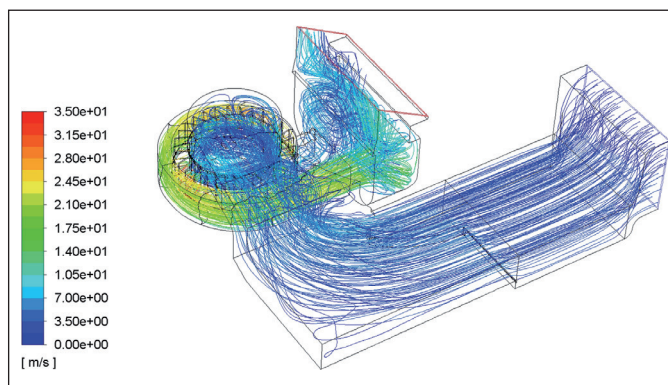


Obr. 7 Výsledky simulace proudění v přívodním vzduchovodu – trajektorie
Fig. 7 Simulation results of airflow in inlet channel – flow pathlines



Obr. 8 Přívodní vzduchovod – detailní zobrazení rychlostního pole na výstupu ze vzduchovodu

Fig. 8 Inlet channel – detail of velocity field at the outlet of the channel



Obr. 9 Výsledky simulace proudění v odvodním vzduchovodu – trajektorie
Fig. 9 Simulation results of airflow in outlet channel – flow pathlines

má ostrý roh na vnitřní straně, což není vhodné) a také v zúžení vzduchovodu před vyústkou.

Z vyhodnocených výsledků je zřejmé, že komplikovaná geometrie vzduchovodu na výstupu vzduchu ze zařízení do místnosti (zúžení a ohyb vzduchovodu ve směru k vyústce) vede k relativně vysokým výstupním rychlostem proudění až 9 m/s, viz detail na obr. 8. Při takových rychlostech hrozí riziko vzniku aerodynamického hluku. Rychlostní profil proudu navíc není rovnoměrný po celé ploše vyústění vzduchovodu, což není optimální. Při daném řešení přívodního vzduchovodu je využita pouze horní třetina a levá část plochy vyústění, ve zbylé ploše je dosaženo pouze minimálního průtoku vzduchu. Ohyb vzduchovodu před vyústěním také způsobuje výraznou směrovost proudu vzduchu do místnosti.

Simulace proudění v odvodním vzduchovodu

Geometrie odvodního vzduchovodu je v porovnání s přívodním vzduchovodem jednodušší a tomu odpovídá rovnoměrnější rychlostní profil ve vzduchovodu, s rychlostí proudění v rozmezí 3 až 5 m/s. Rychlost vzduchu na obvodu ventilátorového kola dosahuje, stejně jako v předchozím případě, hodnoty okolo 33 m/s. Vzhledem k jednodušší geometrii a k tomu, že většina vzduchovodu je v podtlaku, je možné pozorovat relativně uspořádané proudění. Viz trajektorie zobrazené na obr. 9. Výraznější neuspořádanost proudu je pozorována pouze u odskoku vzduchovodu před sáním do ventilátoru, který je doporučeno zmírnit zkosením, nebo zaoblením ostrého rohu.

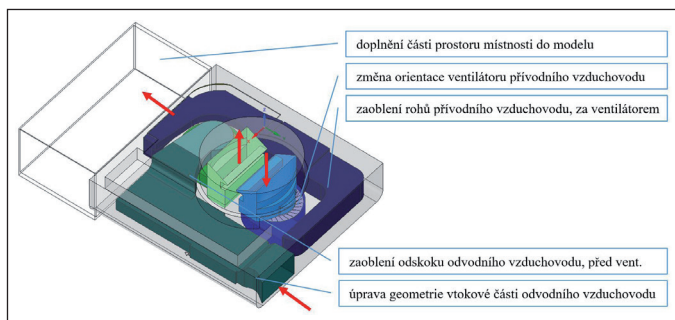
OPTIMALIZACE VĚTRACÍ JEDNOTKY

Na základě provedené analýzy základní konstrukční geometrie kompaktní větrací jednotky byla odhalena kritická místa a doporučena úprava geometrie přívodního a odvodního vzduchovodu a souvisejícího technického řešení zařízení. Vliv navržených úprav na proudění ve vzduchovodech byl následně analyzován s využitím CFD simulací.

Ve srovnání se základní geometrií jednotky (viz obr. 3) se optimalizovaná geometrie liší hlavně v následujících bodech (viz také obr. 10):

- upravená geometrie vtokové části odvodního vzduchovodu,
- zaoblení odskoku odvodního vzduchovodu před ventilátorem,
- změna orientace ventilátoru přívodního vzduchovodu – ventilátor byl otočen o 90° pro snížení hluku generovaného do místnosti,
- zaoblení ostrých rohů ohybu přívodního vzduchovodu za ventilátorem,
- doplnění zařízení vzduchotechnickou vyústkou na výstupu z přívodního vzduchovodu – byla provedena samostatná numerická studie použití různých vzduchotechnických vyústek.

Výpočetní model byl doplněn o část okolního prostoru, za účelem studie proudění vzduchu do větrané místnosti. Byly porovnány čtyři případy



Obr. 10 Optimalizovaná geometrie jednotky DC40

Fig. 10 Optimized geometry of the DC40 unit

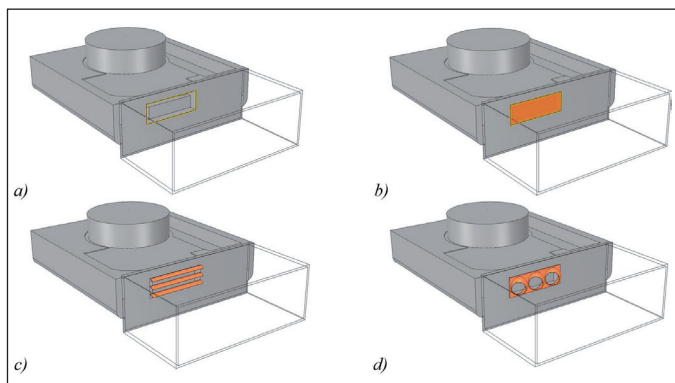
směrových charakteristik výstupního proudu vzduchu, při použití rozdílných vyústek, viz obr. 11:

- a) přívodní otvor bez vyústky (původní řešení),
- b) přívodní otvor opatřený perforovanou vyústkou,
- c) přívodní otvor opatřený směrovými lopatkami,
- d) přívodní otvor opatřený dýzami.

Při numerické studii proudění vzduchu v jednotce s optimalizovanou geometrií bylo postupováno shodným způsobem jako v předchozí etapě projektu. Výpočetní síť byla vytvořena se stejnými parametry (v případě přívodního vzduchovodu měla $11 \cdot 10^6$ výpočetních buněk a v případě odvodního vzduchovodu $8,1 \cdot 10^6$ výpočetních buněk), CFD simulace byla nastavena shodně. Výpočty byly provedeny pro jeden pracovní stav jednotky, při průtoku vzduchu zařízením $45 \text{ m}^3/\text{h}$ a tlakové ztrátě výměníku tepla $112,5 \text{ Pa}$.

Simulace proudění ve vzduchovodech s optimalizovanou geometrií

Na obr. 12 jsou zobrazeny isoplochy rychlostního pole pro přívodní vzduchovod. Rychlosti ve vzduchovodu jsou v rozmezí od 1,5 do 15 m/s, obdobně jako v případě před optimalizací. Vyšší rychlosti mohou být pozorovány především v zúžené části vzduchovodu bezprostředně za ventilátorem. Vzhledem k natočení ventilátoru o 90° , které bylo provedeno v rámci optimalizace zařízení na základě výstupů z první etapy projektu, je nicméně tato oblast odstíněna od vyústění do místnosti. Hluk generovaný jak ventilátorem, tak proudícím vzduchem, je efektivněji pohlcován stěnami vzduchovodu, které jsou opatřeny zvukově izolačním materiálem. Tato skutečnost byla ověřena měřením v akustické laboratoři. Geometrickými změnami přívodního vzduchovodu bylo dále dosaženo uspořádanějšího proudění (viz obr. 13). Stále je však patrná výrazná směrovost proudu vzduchu na výstupu do místnosti. Tento nedostatek byl řešen v rámci samostatné variantní studie vzduchotechnických vyústek, která je uvedena v následující kapitole.



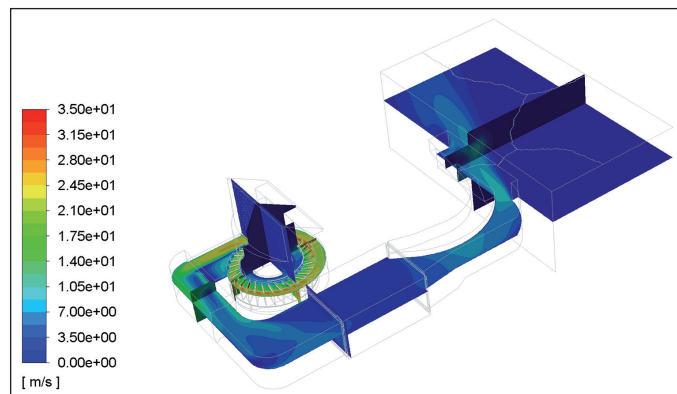
Obr. 11 Variantní studie použití různých vzduchotechnických vyústek

Fig. 11 Variant study on the use of different HVAC diffusers

Geometrie odvodního vzduchovodu je v porovnání s přívodním vzduchovodem jednodušší a většina vzduchovodu je v podtlaku. Tomu odpovídá rovnoměrnější rychlost ve vzduchovodu v rozmezí 3 až 5 m/s. Provedené změny geometrie vzduchovodu neměly významný vliv na charakter proudění, viz obr. 14.

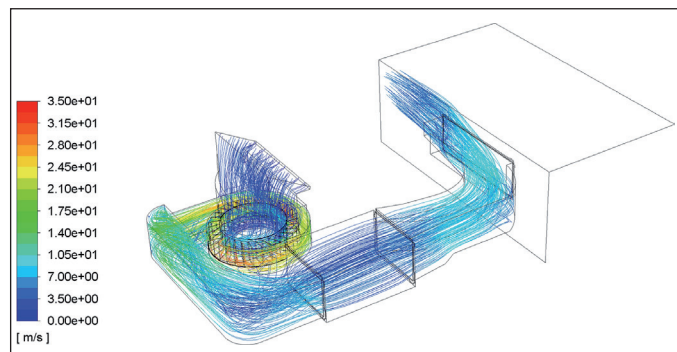
Variantní studie vzduchotechnických vyústek

V rámci řešeného projektu byla zpracována variantní numerická studie větrací jednotky ve čtyřech konfiguracích s rozdílnými vzduchotechnickými vyústkami, viz obr. 11 (jednotka bez vyústky, s perforovanou vyústkou, opatřená směrovými lopatkami a opatřená dýzami). Cílem studie bylo zlepšení směrových charakteristik výstupního proudu vzduchu optimálně tak, aby proudění do místnosti bylo kolmé na plochu vyústky.



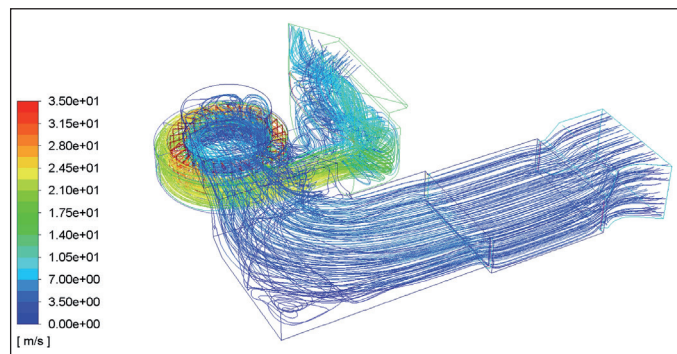
Obr. 12 Výsledky simulace proudění v přívodním vzduchovodu po optimalizaci – isoplochy rychlosti

Fig. 12 Simulation results of airflow in inlet channel after optimization – velocity isosurfaces



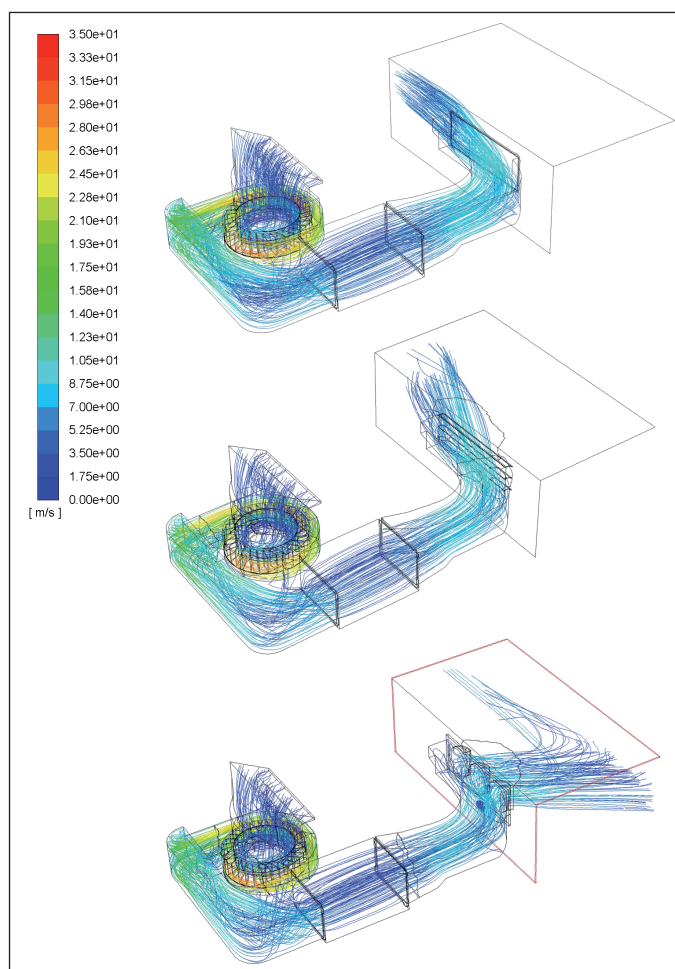
Obr. 13 Výsledky simulace proudění v přívodním vzduchovodu po optimalizaci – trajektorie

Fig. 13 Simulation results of airflow in inlet channel after optimization – flow pathlines



Obr. 14 Výsledky simulace proudění v odvodním vzduchovodu po optimalizaci – trajektorie

Fig. 14 Simulation results of airflow in outlet channel after optimization – flow pathlines



Obr. 15 Výsledky simulace různých vzduchotechnických vyústek – trajektorie
Fig. 15 Simulation results for various HVAC diffusers – flow pathlines

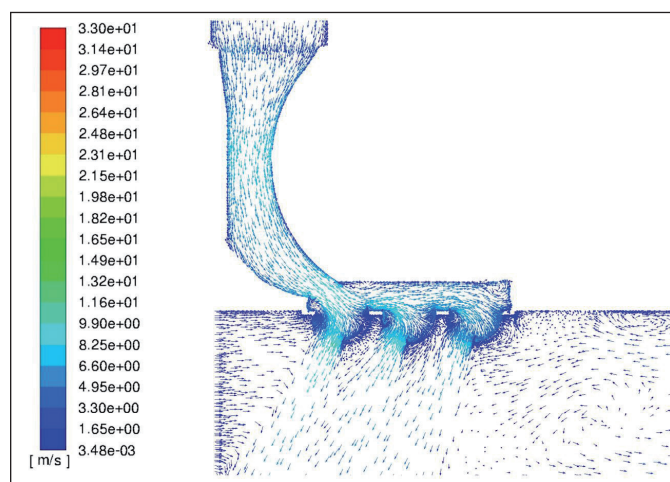
Při variantní studii byla zanedbána změna tlakových poměrů na výústce a související změna průtoku vzduchovodem při výměně výústky. Toto zjednodušení by nemělo mít výrazný vliv na proudění výústkou a na směrové charakteristiky proudu do větraného prostoru.

Na obr. 15 jsou zobrazeny trajektorie proudu vzduchu na výústku z přívodního vzduchovodu ve třech případech s výústkami. Na základě provedené studie je patrné, že výrazný vliv na směrovost proudu má pouze osazení jednotky třemi dýzami, které jsou navíc volně nastavitelné a umožňují směřovat výstupní proud vzduchu do místnosti dle preference uživatele zařízení. Viz také obr. 16, kde jsou v detailu zobrazeny vektory rychlosti proudu na výústku ze zařízení do místnosti. Použití dýz bylo proto doporučeno.

ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo seznámit čtenáře s praktickým využitím CFD simulací při vývoji kompaktní větrací jednotky pro lokální větrání místností. Byla popsána příprava geometrie zařízení pro CFD simulaci, byly uvedeny parametry numerické sítě a specifikováno nastavení výpočtu s využitím modelu MRF pro aproximaci rotace oběžných kol ventilátorů a aplikace PorZo pro aproximaci filtračního materiálu porézní vrstvou.

Výsledky CFD simulací proudění v konstrukční geometrii přívodního a odvodního vzduchovodu zařízení byly využity jako východisko pro další zpřesňující analýzy a následnou optimalizaci zařízení. CFD simulací proudění ve vzduchovodech s optimalizovanou geometrií bylo ověřeno, že provedené úpravy byly vhodné a bylo dosaženo předpokládaných výsledků. V samostatné variantní studii bylo dále porovnáno použití tří různých



Obr. 16 Výsledky simulace jednotky vybavené směrovatelnými dýzami – vektory rychlosti

Fig. 16 Simulation results of the unit equipped with adjustable jet nozzles – velocity vectors

typů výústek na výústku vzduchu z přívodního vzduchovodu. Bylo doporučeno použití nastavitelných dýz, které umožní směřovat výstupní proud vzduchu do místnosti dle preference uživatele.

V návaznosti na další měření v hlukové laboratoři byla provedena optimalizace použitých filtrů s ohledem na jejich tlakovou ztrátu. Také byly dodatečně odstraněny některé části zvukové izolace ze vzduchovodů, které měly jen malý vliv na útlum hluku, nicméně omezovaly volný průřez vzduchovodů. Tím byla dále snížena tlaková ztráta vzduchovodů, a ventilátory tak dosahují požadovaného průtoku vzduchu při nižších otáčkách, což se pozitivně projevilo na dalším snížení akustického výkonu zařízení. Následně bylo ověřeno, že větrací jednotka splňuje hygienické limity hluku, a to jak pro denní provoz, tak pro noční provoz při sníženém výkonu.

Výstupem řešeného výzkumu je nový typ malé kompaktní větrací jednotky RECUAIR DC40 pro lokální větrání místností, která je již komerčně dostupná na trhu. S přispěním CFD simulací bylo dosaženo zvýšení účinnosti zařízení a snížení akustického výkonu, a to při zachování jeho kompaktních rozměrů.

Kontakt na autory: petr.zelensky@fs.cvut.cz, juraj.mazik@recuir.com

Poděkování: Tato studie byla řešena za finanční podpory Evropské unie, Evropského fondu pro regionální rozvoj, v rámci projektu Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/17_107/0012492 „Vývoj energeticky úsporných větracích jednotek“.



Použité zdroje:

- [1] Použité fotografie jednotky RECUAIR DC40: RYSZAWY, J. VIC ČVUT.
- [2] ZELENSKÝ, P., BARTÁK, M., ZAVŘEL, V., ZMRHAL, V., KRUPA, R. CFD analýza ventilátorové komory pro sestavnou klimatizační jednotku. *Vytápění, větrání, instalace*. 2019, roč. 28, č. 4, s. 194–197. ISSN 1210-1389.
- [3] SHIH, T., LIOU, W., SHABBIR, A., YANG, Z., and ZHU J. A new eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. *Computers & Fluids*. 1995, č. 24, s. 227–238.
- [4] ANSYS Inc. *ANSYS Fluent User's Guide*. USA: ANSYS Inc. 2013.
- [5] RecAir RS220 [online]. Recair B.V. Dostupné z: <https://www.recair.com/recair-sensitive/rs220/>
- [6] PorZo [online]. SVS FEM s.r.o. Dostupné z: <https://www.svsfem.cz/produkty/aplikace-ansys-act/porzo>

Seznam označení:

- k kinetická energie turbulence [m^2/s^2]
 ε rychlost disipace kinetické energie turbulence [m^2/s^3]