

doc. Ing. Jiří HEMERKA, CSc.
Ing. Pavel VYBÍRAL, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Normalizace a odlučovací schopnosti filtrů pro všeobecné větrání

Standardization and Separation Capabilities of Filters for General Ventilation

Recenzent
Ing. Miloš Lain, Ph.D.
Ing. Marcel Kadlec

Správné použití filtrů atmosférického vzduchu pro všeobecné větrání vychází z odlučovacích schopností filtrů, vyjádřených závislostí frakční odlučivosti na velikosti částice, a ze zrnitosti a koncentrace tuhých příměsí v nosném vzduchu v daném konkrétním případě. Příspěvek přináší přehled o vývoji normalizace a zkoušení filtrů pro všeobecné větrání v Evropě a USA a kritické hodnocení tohoto vývoje právě z hlediska využitelnosti uváděných parametrů zkoušených filtrů ke stanovení celkové odlučivosti a životnosti při jejich konkrétním nasazení. Informuje o vzniku ISO normy 16890:2016, která při zkoušení a třídění filtrů zavádí nové indikátory – frakce atmosférického prachu PM10, PM2,5 a PM1. Do struktury norem EN byla tato norma zařazena v prosinci 2016 a do struktury norem ČSN v listopadu 2017. S výjimkou USA se předpokládá široké uplatnění normy v Evropě a ve světě.

Klíčová slova: filtry pro všeobecné větrání, evropské normy, ISO normy, ASHRAE Standards, odlučovací schopnosti

The correct use of atmospheric air filters for general ventilation is based on separation capabilities of filter expressed by dependence of fractional separation efficiency on particle size and on the grain size and concentration of solids in the air in the particular considered case. The paper gives an overview of the development of standardization and testing of general ventilation filters in Europe and the USA. It critically evaluates this development, namely in terms of usability of introduced characteristics of tested filters for determination of total separation efficiency and lifetime period in particular case of use. It informs about ISO 16890:2016 standard, which introduces new indicators for testing and classification of filters – fractions of atmospheric dust PM10, PM2.5 and PM1. This standard was incorporated into the EN standardization framework in December 2016 and into the CSN standardization framework in November 2017. Except the USA, the standard is expected to be widely applied in Europe and worldwide.

Keywords: general ventilation filters, European Standards, ISO Standards, ASHRAE Standards, separation efficiency

ÚVOD

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

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

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

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

kde je:

n počet velikostních intervalů Δa_p na který rozdělíme celkový rozsah velikostí částic od a_{min} až a_{max} ; čím je počet intervalů n větší, tím je výpočet celkové odlučivosti přesnější,

$O_{f,i}$ frakční odlučivost pro střední velikost částice daného velikostního intervalu Δa_p ,

$\Delta Z_{M,i}$ hmotnostní podíl, který u daného prachu odpovídá zvolenému velikostnímu intervalu Δa_p ,

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

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

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

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

V následujícím textu je uveden přehled dosud používané normalizace filtrů pro všeobecné větrání dle EN (ČSN EN) a ASHRAE z hlediska odlučovacích schopností filtrů a důležité novinky z normalizace dle ISO, které se rychle zobrazily i ve struktuře norem EN a ČSN EN.

VÝVOJ VE ZKOUŠENÍ A TŘÍDĚNÍ FILTRŮ PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ DLE EN (ČSN EN)

EN 779:1993 a ČSN EN 779:1996 [1]

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

EN 779:2002 a ČSN EN 779:2003 [2]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Frakční odlučivost filtrů pro všeobecné větrání

Praktické využití výsledků zařazení filtru do některé z tříd G nebo F je pro uživatele samo o sobě velmi omezené. Naměřené účinnosti na syntetický prach i částice 0,4 μm a naměřené jímavosti na syntetický prach nejsou přímo aplikovatelné do praxe. Výsledky měření tak slouží zejména výrobcům pro vzájemné porovnání filtrů a filtračních materiálů. Pro uživatele zde schází základní informace o odlučovacích schopnostech filtrů, vyjádřených závislostí frakční odlučivosti na velikosti částice $O_f(a)$, podle

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

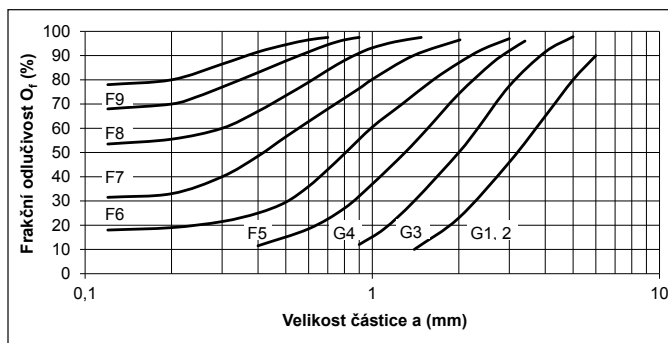
Tab. 1 Classification of atmospheric air filters according to ČSN EN 779:2003 [2]

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

kteří je možno při použití filtru předpokládat účinnost odloučení určitých typických částic, např. cigaretového kouře nebo organických příměsí (např. pylů, plísní, bakterií, virů).

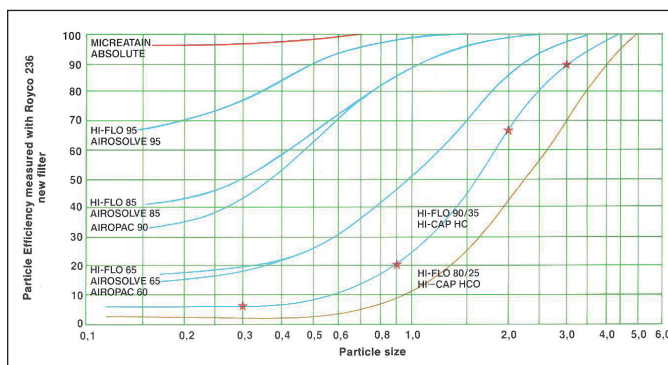
Měření frakční odlučivosti filtrů se s rozvojem moderních měřicích metod s využitím počítačů částic stalo v posledních letech standardem a renovovaní výrobci filtrů tak kromě třídy filtrů uvádějí ve svých materiálech i výsledky těchto měření.

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



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

Fig. 1 Fractional separation efficiency of filters for general ventilation [3]



Obr. 2 Frakční odlučivosti filtrů pro všeobecné větrání firmy Camfil

Fig. 2 Fractional separation efficiency of filters for general ventilation by Camfil [3]

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

Z průběhu $E_f(a)$ u hrubých filtrů G vyplývá, že tyto třídy filtrů jsou použitelné pouze pro odlučování částic větších než $1 \mu\text{m}$. U jemných filtrů F dochází k dílčímu odlučování i částic submikronových velikostí. Čím vyšší třída filtru, tím vyšších odlučivostí se dosahuje pro jemné částice.

Z odlučovacích schopností filtrů jednotlivých tříd a vyjádření zrnitosti atmosférického prachu a typických příměsí v atmosférickém vzduchu vychází i doporučení pro použití těchto filtrů u všeobecného větrání.

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

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

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

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

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

Filtry, u nichž byla zjištěna hodnota střední účinnosti filtrace $E_m \geq 80 \%$ a více, jsou zařazeny do třídy F (F7–F9) a jejich zařazení je založeno na hodnotě střední účinnosti filtrace E_m jako u původního systému a hodnotě minimální účinnosti filtrace během zkoušky E_{min} . Minimální účinnost filtrace E_{min} je nejnižší hodnota účinnosti filtrace pro částice $0,4 \mu\text{m}$ mezi počáteční účinností filtrace, účinností filtrace po vybití filtračního materiálu a nejnižší hodnotou účinnosti filtrace během zátěžového postupu zkoušení filtru.

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

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

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

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

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

Tab. 2 Classification of atmospheric air filters according to ČSN EN 779:2012 [4]

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

Filtry zkoušené při jiných průtocích a konečných tlakových ztrátách, než je uvedeno výše, se zařídí podle hraničních hodnot v tabulce a jejich zařazení je blíže určeno zkušebními podmínkami uvedenými v závorkách.

Kromě eliminace vlivu elektrostatického náboje na zařazení filtrů novela normy z roku 2012 z hlediska informace o odlučovacích schopnostech filtrů jednotlivých tříd nic nového nepřinesla.

Cenné informace o odlučovacích schopnostech filtrů pro všeobecné větrání

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

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

Tab. 3 Typical separation efficiency of individual classes of filters according to EN 779 for fractions PM_{10} , $PM_{2,5}$ and PM_{10} of atmospheric dust particles [5]

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

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

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

ASHRAE 52-76 [6]

Filtry jsou zkoušeny střídavě atmosférickým a syntetickým prachem. Při zkoušce atmosférickým prachem je stanovena hodnota „Atmosphe-

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

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

- počáteční tlakovou ztrátu,
- počáteční hodnotu opacitometrické odlučivosti na atmosférický prach E_0 [%],
- střední hodnotu E_{avg} [%],
- konečnou tlakovou ztrátu nebo maximální a minimální tlakovou ztrátu, střední hodnotu A_{avg} [%],
- hodnotu jímavosti na syntetický prach, stanovenou jako násobek A_{avg} [%],
- hmotnosti podaného prachu.

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

ASHRAE 52.1-1992 [7]

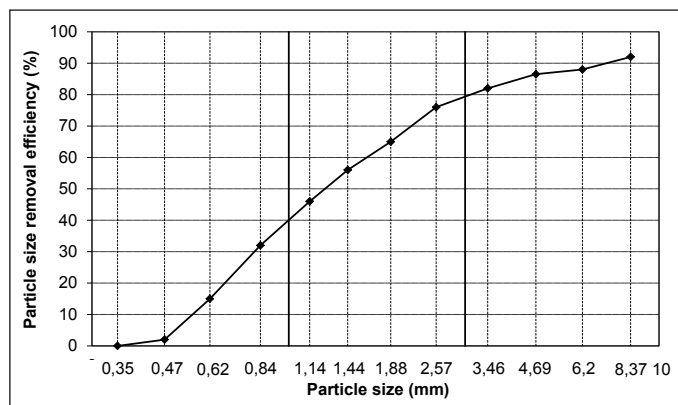
Prakticky stejný postup zkoušení filtrů pro všeobecné větrání zůstává i podle novely ASHRAE 52.1-1992.

ASHRAE 52.2-1999 [8]

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

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

U nového standardu ASHRAE 52.2-1999 zkušební vzduch prochází HEPA filtrem a kontroluje se jeho teplota a vlhkost. K zařazení filtru pak slouží zkušební aerosol tvořený rozprášením vodní suspenze chloridu draselného KCL, obsahující stabilní částice v rozsahu velikostí 0,3 až 10 μm . Pro zařazení se velikostní rozsah dělí na 12 intervalů s hraničními velikostmi 0,30; 0,40; 0,55; 0,70; 1,00; 1,30; 1,60; 2,20; 3,00; 4,00;



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

Fig. 3 Experimentally determined dependence $E_{t,min}$ (a)

5,50; 7,00 a 10,00 μm . Vyhodnocení účinnosti se provádí odběrem a vyhodnocením vzorků aerosolu před a za filtrem pomocí počítače částic.

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

Pro zařazení filtrů se zjištěná závislost $E_{t,min}(a)$ rozdělí do 3 oblastí. Oblast 1 odpovídá jemným částicím a ze 4 jednotlivých hodnot $E_{t,min,i}$ se stanoví střední hodnota E_1 [%]. Podobně pro oblast velikostí částic 1 až 3 μm se ze 4 hodnot stanoví střední hodnota E_2 [%] a pro oblast velikostí částic 3 až 10 μm střední hodnota E_3 [%].

Filtry jsou podle dosažených hodnot A_{avg} a E_1, E_2, E_3 [%] zařazeny do 16 tříd MERV1 až MERV16 dle hodnot v tab. 4. Další podmínkou zařazení je, že filtry musí být provozovány do konečné hodnoty tlakové ztráty v [Pa], uvedené v posledním sloupci tabulky.

Tab. 4 Zařazení filtrů dle ASHRAE 52.2-1999

Tab. 4 Classification of filters according to ASHRAE 52.2-1999

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

ANSI/ASHRAE 52.2-2007 [9]

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

Na základě garantovaných odlučovacích schopností se odvíjí i doporučení pro použití jednotlivých tříd filtrů, uvedené v tab. 5 podle údajů v [9], [10].

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

Tab. 5 Recommendations for use of individual classes of filter [10]

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

Standardy ASHRAE 52.2-1999 ani ASHRAE 52.2-2007 nenabízejí žádnou informaci o jímavosti, resp. životnosti filtru. Jímavost filtru (Dust Holding Capacity) u standardů ASHRAE 52.2 nepatří mezi tzv. uváděné parametry (reporting results). Informaci o jímavosti filtru poskytuje předpis ASHRAE 52.1-1992.

ZKOUŠENÍ A TŘÍDĚNÍ FILTRŮ PRO VŠEOBECNÉ VĚTRÁNÍ DLE ISO 16890

Důležitým krokem v oblasti zkoušení a třídění filtrů pro všeobecné větrání je vznik normy ISO 16890 z prosince 2016 [11], která při zkoušení a třídění filtrů zavádí nové indikátory – frakce atmosférického prachu PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a PM_1 . Jednotlivé třídy filtrů jsou definovány podle dosažené odlučivosti pro uvedené frakce atmosférického prachu. Do struktury norem EN byla tato norma zařazena v prosinci 2016 a do struktury norem ČSN v listopadu 2017. Současně byly zrušeny normy EN 779 a ČSN EN 779. S výjimkou USA se předpokládá široké uplatnění nové normy v Evropě a ve světě.

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

Protože nelze sestavit ideální třídič, který roztřídí polydisperzní soubor částic na dvě frakce – hrubou a jemnou, je frakce PM_x v příslušných předpisech v ochraně ovzduší, ale i v ISO 16890 zjednodušeně definována jako soubor částic atmosférického prachu, který projde selektivním třídičem s třídicí účinností 50 % právě u aerodynamické velikosti částice 10, 2,5 a 1,0 μm . Protože reálná třídicí křivka je ve tvaru písmena „S“,

odtříděný soubor jemných částic, tj. frakce PM_x , tak ve skutečnosti obsahuje i určité množství větších částic než $x = 10, 2,5$ a 1,0 μm . Naopak odtříděný soubor hrubých částic obsahuje určité množství částic menších než $x = 10, 2,5$ a 1,0 μm .

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

Vlastní předpis ISO 16890 pracuje s účinností $e\text{PM}_x$, která vyjadřuje hmotnostní účinnost odlučování „zařízení“ (filtru), stanovenou pro částice atmosférického prachu v rozsahu opticky stanovených velikostí částic 0,3 až $x \mu\text{m}$ – viz tab. 6.

Tab. 6 Rozsah velikostí částic při stanovení účinnosti odlučování

Tab. 6 Range of particle sizes for determination of separation efficiency

Účinnost odlučování	Rozsah opticky stanovených velikostí částic [μm]
$e\text{PM}_{10}$	$0,3 \leq x \leq 10$
$e\text{PM}_{2,5}$	$0,3 \leq x \leq 2,5$
$e\text{PM}_1$	$0,3 \leq x \leq 1$

Poznámka: U tohoto předpisu se zanedbává rozdíl mezi aerodynamickým průměrem částice, který se používá v ochraně ovzduší při definici frakce PM_x , a opticky stanovenou velikostí částice, použité při definici hodnoty $e\text{PM}_x$.

Metoda a postup měření

Při zkoušce filtru se jeho odlučovací schopnosti měří v rozsahu opticky stanovených velikostí částic 0,3 až 10 μm ve 12 velikostních intervalech nejprve u čistého a elektricky neupraveného filtru (unconditioned) podle postupu uvedeného v části ISO 16890-2. Měřením se získají jednotlivé hodnoty účinnosti odlučování E_i [%].

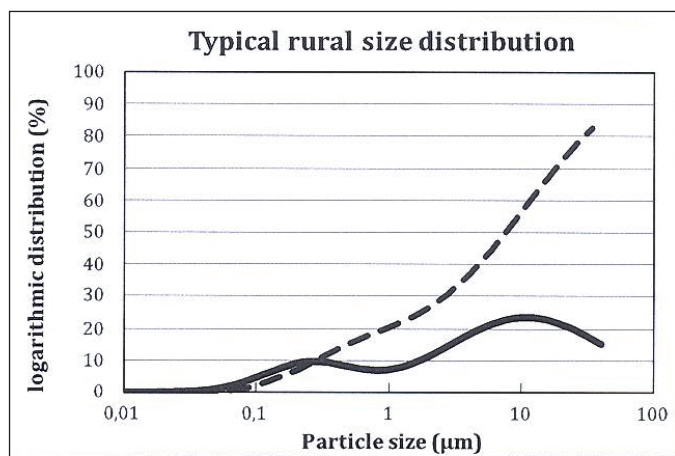
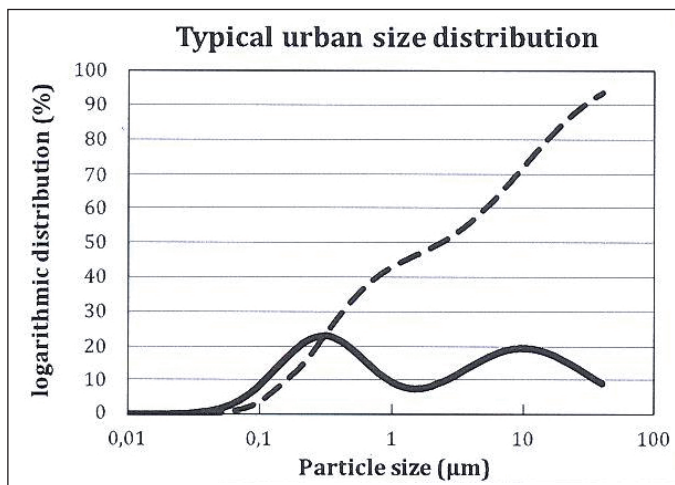
Po neutralizaci náboje filtračního materiálu dle části ISO 16890-4 se opět zjistí odlučovací schopnosti elektricky neutrálního filtru ve 12 velikostních intervalech v rozsahu velikostí částic 0,3 až 10 μm , hodnoty $E_{D,i}$ [%]. Závislost $E_D(a)$ se považuje za minimální hodnoty frakční odlučivosti filtru.

Zatěžováním filtru jemným syntetickým prachem L2 dle ISO 15957 a postupem uvedeným v části ISO 16890-3 se stanoví počáteční hodnota odlučivosti filtru na syntetický prach, dále závislost změny tlakové ztráty filtru na hmotnosti zachyceného prachu a stanoví se hodnota jímavosti filtru (test dust capacity).

Z jednotlivých zjištěných hodnot E_i a $E_{D,i}$ se stanoví střední aritmetické hodnoty $E_{A,i}$, které se dále považují za střední hodnoty, podle nichž se bude filtr chovat v reálných podmínkách.

Jednotlivé hodnoty $E_{A,i}$ [%], resp. závislost $E_A(a)$ se dále použije při výpočtu hodnoty odlučivosti filtru $e\text{PM}_x$ v rozsahu velikostí částic 0,3 až $x \mu\text{m}$.

K výpočtu hodnot $e\text{PM}_x$ [%] se použije průměrné složení atmosférického prachu v městských oblastech (urban) a ve venkovských oblastech (rural), rozdělení velikostí částic dle hmotnosti (objemu), a to ve formě vyjádření četnosti a kumulativní křivky zrnitosti – křivky propadů. Charakteristickým znakem obou typických atmosférických prachů je bimo-



Obr. 4 Průměrné složení atmosférického prachu v městských a venkovských oblastech [11]

Fig. 4 Average composition of atmospheric dust in urban and rural areas [11]

další rozdělení četnosti mezi jemným a hrubým módem atmosférického prachu – viz obr. 4.

Podle doporučení v ISO se filtry, které se většinou používají k odlučování částic frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$, zatřídí podle složení atmosférického prachu v městských oblastech. Filtry určené především k odlučování částic frakce PM_{10} se zatřídí podle složení aerosolu ve venkovských oblastech. Vypočítané hodnoty ePM_1 a $ePM_{2,5}$ [%] proto vycházejí z distribuční křivky pro městský aerosol, hodnota ePM_{10} [%] pak z distribuční křivky pro venkovský aerosol. Připomínáme, že k výpočtu hodnot ePM_x [%] se používají zjištěné střední aritmetické hodnoty odlučivosti $E_{A,i}$ [%] u jednotlivých velikostních frakcí.

Tab. 7 Zatřídění filtrů dle ISO 16890

Tab. 7 Classification of filters according to ISO 16890

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

Kromě těchto „středních“ hodnot, které patří mezi hlavní uváděné parametry filtru (class reported value), se při zpracování výsledků měření výpočet doplňuje stanovením minimálních hodnot $ePM_{1, \min}$ a $ePM_{2,5, \min}$ [%] podle zjištěných hodnot minimálních odlučivosti $E_{D,i}$ [%] u jednotlivých velikostních frakcí.

Na základě výsledků zkoušek jsou filtry zatříděny podle splnění požadavků pro $ePM_{1, \min}$ a $ePM_{2,5, \min}$ [%] a pro ePM_{10} [%] do následujících tříd – viz tab. 7.

Kromě tohoto hrubého zatřídění se u každého zkoušeného filtru uvádí zjištěná hodnota ePM_x [%], stanovená podle zjištěných středních hodnot frakčních odlučivosti $E_{A,i}$ [%]. Hodnota ePM_x [%] se uvádí zaokrouhlená dolů na násobek 5 %.

Výjimku v uváděných parametrech filtru tvoří třída filtrů ISO hrubý, kde se jako výsledek zkoušení uvádí počáteční hodnota odlučivosti na syntetický prach.

Norma EN ISO 16890 přináší nové cenné informace o odlučovacích schopnostech filtrů a předpokládá se její široké uplatnění především v Evropě. Ve světě pak budou dále vedle sebe koexistovat oba systémy EN ISO 16890 a ASHRAE 52.2-2007 ve spojení s ASHRAE 52.1-1992.

Poznámka: ISO 16890 pracuje s účinností ePM_x , stanovenou pro částice atmosférického prachu v rozsahu velikostí částic 0,3 až $x \mu m$. Hmotnostní podíl částic menších než 0,3 μm je u běžného atmosférického prachu nezanedbatelný a tvoří řádově 10 až 30 % procent celkové hmotnosti prachu. Jak vyplývá z grafů na obr. 1 a 2, má u všech tříd filtrů závislost $O_p(a)$ obecně klesající tendenci se zmenšováním velikosti částice. Jestliže bychom chtěli stanovit odlučivost filtru pro celou frakci částic PM_x , potom příspěvek odlučených částic v rozsahu velikostí 0 až 0,3 μm bude vždy menší, než stanovená hodnota ePM_x pro částice větší než 0,3 μm . Výsledkem těchto úvah je závěr, že skutečná odlučivost filtru pro částice frakce PM_x , tedy E_{PMx} [%], bude vždy poněkud menší než hodnota ePM_x . Obecně však platí, že vyšším uváděným hodnotám ePM_x odpovídají vyšší předpokládané hodnoty E_{PMx} [%].

V normě uváděné hodnoty ePM_x jednotlivých tříd filtrů tak přesně neodpovídají předpokládané odlučivosti filtrů pro částice frakce PM_x , tedy E_{PMx} [%], hodnoty ePM_x je však možno považovat za „míru odlučivosti“ pro frakce částic PM_x , tj. filtry s vyššími hodnotami ePM_x budou dosahovat vyšších hodnot E_{PMx} [%].

ZÁVĚR

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

Kontakt na autora: Jiri.Hemerka@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] ČSN EN 779 +AC:1996. Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic u běžného větrání – Požadavky, zkoušení, označování. ČNI, 1995.
- [2] ČSN EN 779:2003. Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů. ČNI, 2003.
- [3] MOJŽIŠ, M. Třídění a použití filtrů atmosférického vzduchu z hlediska současných norem. *Vytápění, větrání, instalace*. 1995, č.2, s. 85–88.
- [4] ČSN EN 779:2012. Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů. ÚTNMZ, 2010.

- [5] *PM1 – Fine Dust Hazard to Health*. Clean Air Solutions. Camfil, 2017.
- [6] ASHRAE 52-76. Method of Testing Air-Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter. ASHRAE, 1976.
- [7] ASHRAE 52.1-1992. Gravimetric and Dust-Spot Procedures for Testing Air-Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter. ASHRAE, 1992.
- [8] ANSI/ASHRAE STANDARD 52.2-1999. Method of Testing General Ventilation Air Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size. ASHRAE. 1999.
- [9] ANSI/ASHRAE STANDARD 52.2-2007. Method of Testing General Ventilation Air Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size. ASHRAE. 2007.
- [10] Camfil Far Technical Services Bulletin – ASHRAE Testing for HVAC Air Filtration – A Review of Standards 52.1-1992 & 52.5-1999. Camfil Farr, 2002.
- [11] ISO 16890-1. Air filters for general ventilation – Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM). ISO 2016.

Zkoušení těsnosti odtahových a rozvodových vedení vzduchu v kuchyních

Těsnost odtahových a rozvodových kanálů je stále aktuálnější a důležitějším problémem s námětem pro výměnu zkušeností. Hamburgský kominický mistr André Hentschel od Sumtec GmbH nabízí své zkušenosti.

Hentschel zkouší těsnost kuchyňských odtahů podle třídy D normy EN 13779 „Větrání nebytových budov“, ač jsou požadovány pouze normy DIN 18869 „Zařízení velkokuchyní – Zařízení pro větrání průmyslových kuchyní“ pouze třídy těsnosti B dle EN 12237 „Větrání budov – vzduchová vedení: pevnost a těsnost kruhových průřezů z plechu“, popř. EN 1507 „Větrání budov – vzduchová vedení pravouhlných průřezů z plechu“. Celé znění výměny zkušeností lze nalézt na www.cci-dialog.de pod číslem článku cci51565.

Pramen: CCI 14/2016, s. 9

(AB)

Modernizace ventilátorů pro procesní průmysl

Procesní průmysl je v první řadě chemický a farmaceutický průmysl. Pro firmu Rußwurm Ventilatoren GmbH, Meitingen, představuje 95 % dodávek, když cílem je v první řadě udržení výkonosti a spolehlivosti, nikoliv energetické důvody. Největší zájem je o modernizaci oběžných kol, nabízející vyšší účinnost.

Příkladem je zakázka jedné anglické sladovny na výměnu oběžných kol nízkotlakých ventilátorů s průměrem sací části 2 500 mm. Průtok vzduchu se zvýšil ze 430 000 na 600 000 m³/h, zatímco dopravní tlak zůstal na původní úrovni 2 300 Pa. Jelikož úprava otáček sama o sobě neúčinkuje, bylo dodáno nové oběžné kolo s dutými lopatkami, jímž se zvýšila účinnost z 85 na 87 % v původním pracovním bodě a současně vytvořilo zálohu pro nový. Zákazník tak zkrátí dobu sušení sladu o 5 %. Jak se projeví úspory energie novým opatřením, se brzy ukáže.

Pramen: CCI 01/2017, s. 5

(AB)

Rosenberg nahrazuje řemenový pohon ventilátoru

Největší zájem o modernizaci technologií společnosti Rosenberg Ventilatoren GmbH, Künzelsau, je u EC ventilátorů s volnoběžným kolem a oběžným kolem průměru 280 až 630 mm.

Ventilátory v představeném příkladu se používají k větrání výrobních hal jednoho německého automobilového subdodavatele. Zde se nahrazuje radiální ventilátor, poháněný ještě řemenovým pohonem, ventilátorem s volnoběžným oběžným kolem a frekvenčním měničem s redundantním opatřením ochrany proti výpadku s výkonem 50 000 m³/h při 1 300 Pa.

Rosenberg zde dodal nejen EC-FanGrid ventilátory, ale i mechanické konstrukce a navržení koncepce a převzal i dodávku požadované rozvaděčové techniky.

Pramen: CCI 01/2017, s. 6

(AB)

■ Designové radiátory ■ Komfortní větrání ■ Stropní systémy pro vytápění a chlazení ■ Zařízení pro čištění vzduchu

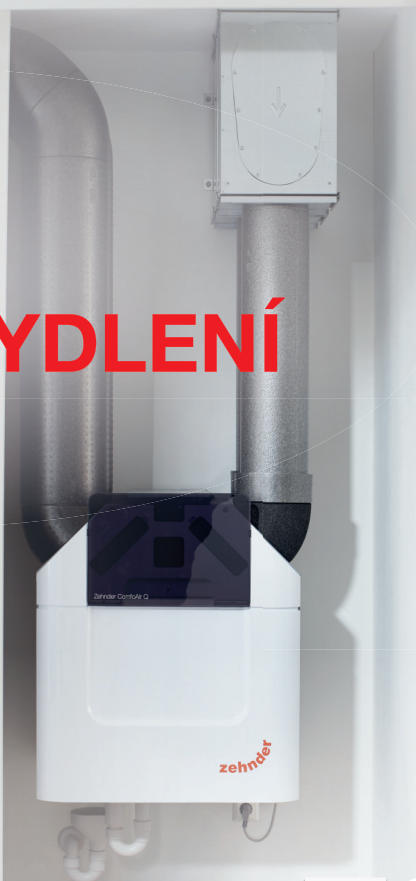
Vždy to nejlepší klima pro

NEJVYŠŠÍ KOMFORT BYDLENÍ

Systémy Zehnder pro komfortní větrání s rekuperací tepla jsou vždy tou nejlepší volbou. Přinášejí čerstvý a čistý vzduch do obytných prostor a po celý rok tak zajišťují příjemné vnitřní klima.

- Více komfortu a zdraví pro celou rodinu
- Úspora nákladů na vytápění až 50 %
- Vhodné pro novostavby i rekonstrukce
- Různé možnosti ovládání včetně praktické mobilní aplikace
- Bezplatný návrh a cenová nabídka

info@zehnder.cz, M 731 414 443
www.zehnder.cz



zehnder

always the best climate

