

Ing. Martin POSTUPA <sup>1)</sup>  
doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D. <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> KASTT, spol. s r.o.

<sup>2)</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní,  
Ústav techniky prostředí

# Rotační výměníky a podmínky pro jejich bezporuchový provoz

## Rotary Heat Exchangers and Conditions for Trouble-Free Operation

Recenzent  
Ing. Zdeněk Lerl

Výměníky pro zpětné získávání tepla jsou dnes neodmyslitelnou součástí prakticky každého vzduchotechnického systému i díky nařízení Evropské komise č. 1253/2014 o Ekodesignu. Článek informuje o základních vlastnostech rotačních výměníků pro zpětné získávání tepla, vč. určitých specifik, kterými se tyto výměníky odlišují od ostatních systémů, a seznamuje čtenáře s konstrukcí, hlavními zásadami při návrhu, montáži, provozu a údržbě těchto výměníků.

**Klíčová slova:** rotační výměník, zpětné získávání tepla, zpětné získávání vlhkosti

Heat exchangers for heat recovery are nowadays a part of virtually every air conditioning system also thanks to the European Commission Regulation 1253/2014 with regard to Ecodesign. The article informs about the basic characteristics of rotary exchangers for heat recovery, incl. certain features that distinguish these exchangers from other systems. It familiarizes the reader with the construction and the main principles of designing, assembling, operating and maintaining of these exchangers.

**Keywords:** rotary heat exchanger, heat recovery, humidity recovery

## ÚVOD

Rotační regenerační výměník pro zpětné získávání tepla využívá pro předávání tepla akumulační hmotu, která se otáčí kolem své osy. Akumulační hmota je umístěna zčásti v proudě odváděného vzduchu, kde je teplo akumulováno, a zčásti v proudě vzduchu přiváděného, kterému se teplo předává – hmota výměníku se zde regeneruje (nejedná se tedy o rekuperační výměník, kde ke sdílení tepla dochází přes teplosměnnou plochu). V rotačním výměníku dochází k přenosu citelného i vázaného tepla. Množství přenesené vodní páry závisí na provedení výměníku. Teplotní faktory (účinnosti) zpětného získávání tepla u rotačních výměníků dosahují poměrně vysokých hodnot, podle provedení cca 80 až 90 %, účinnost zpětného získávání vlhkosti značně závisí na provedení výměníku.

## Přenos vlhkosti

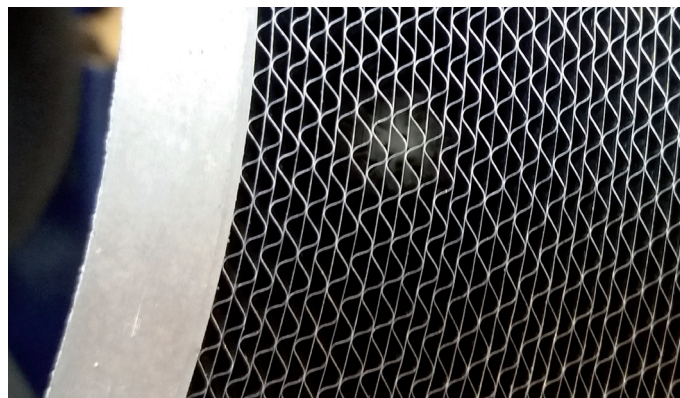
Pro zvýšení přenosu vlhkosti se na materiál, ze kterého je rotor výměníku vyroben, dopředu nanáší vrstvy z materiálů, které na sebe vážou vodní páru (tzv. hygroskopické provedení). Výrobce může výsledný účinek zpětného získávání vlhkosti ovlivnit tím, že materiál se speciálně nanášenou vrstvou použije na rovnou, rádlovanou (zvlňenou) nebo na obě vrstvy rotoru.

Materiály používané pro přenos vlhkosti jsou nejčastěji:

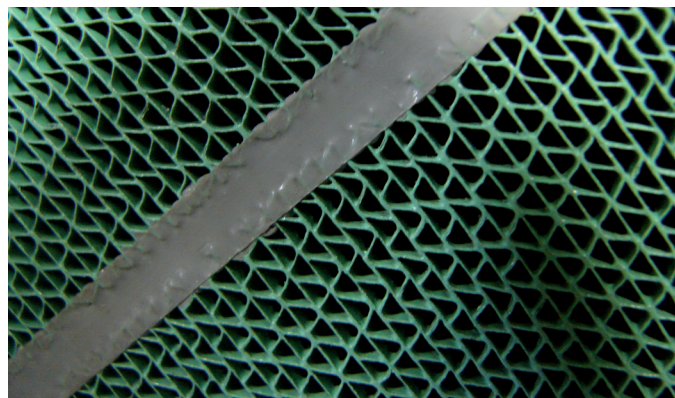
- ❑ Silikagel – vrstva na bázi oxidu křemičitého s vysokou schopností přenosu vlhkosti, s nevýhodou v podobě nebezpečí přenosu pachů.
- ❑ Zeolit – vrstva na bázi hliníkokřemičitých minerálů, které vytváří molekulární síto v podobě kanálků a dutin konstantních, předem definovaných rozměrů. Výsledná vrstva má vysokou schopnost přenosu vlhkosti a zároveň neumožňuje přenos pachů. Tato vlastnost je dána její přesně definovanou molekulární strukturou. Pro rotační výměníky se nejčastěji používá zeolit o velikosti síta 3 nebo 4 Ångstrom (Ångstrom =  $10^{-10}$  m). Molekulární struktura zeolitu proto není schopna adsorbovat molekuly v přírodě běžně se vyskytující pachů, jejichž velikost se pohybuje od velikosti 7 Ångstrom výše.

U výměníků bez úpravy se účinnost zpětného získávání vlhkosti pohybuje do 15 % (pouze z důvodu kondenzace), s úpravou lze tuto účinnost výrazně zvýšit až na 90 %.

*Poznámka: Pro odvlhčování vzduchu v procesech, kdy kondenzační odvlhčování neplní svou funkci (např. depozitáře) se používají adsorpční rotory se silikagelovou vrstvou. Otáčky těchto rotorů jsou výrazně nižší (cca 10 ot/h) než u rotorů pro zpětné získávání tepla. Konstrukce těchto výměníků je poněkud odlišná, protože dělicí rovina obou proudů vzduchu*



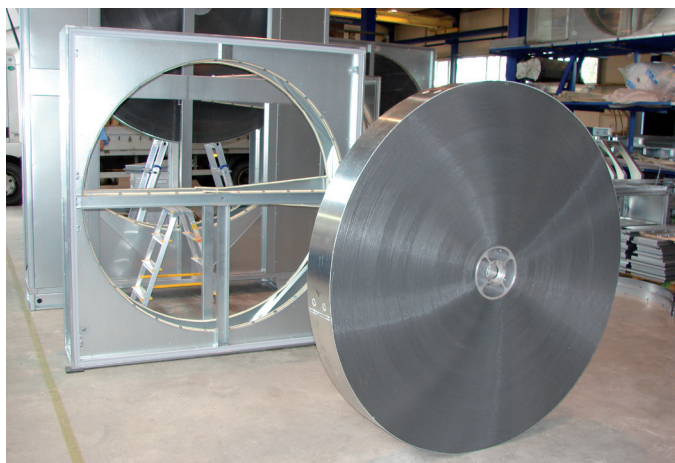
a)



b)

Obř. 1 Skladba rotoru: a) návin z Al fólie; b) vrstvená konstrukce

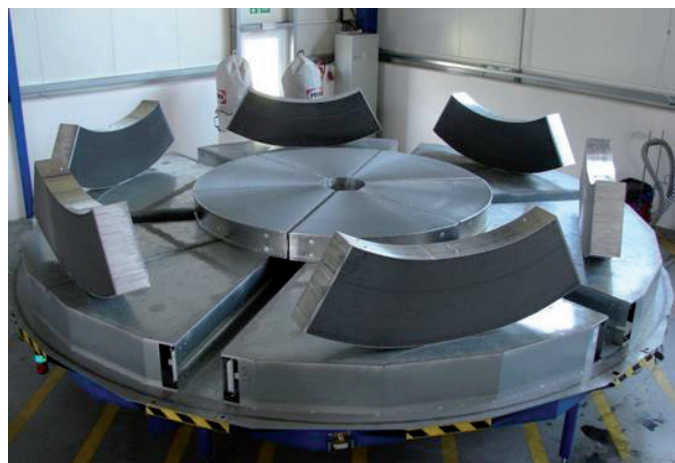
Fig. 1 Rotor assembly: a) aluminum foil winding; b) layered structure



a)

Obr. 2 Konstrukce rotorů: a) nedešený rotor; b) děšený rotor

Fig. 2 Rotor design: a) undivided rotor; b) divided rotor



b)

není v polovině rotoru, ale přivodní vzduch (procesní vzduch) prochází cca 75 % účinné plochy rotoru a pouze 25 % plochy prochází tzv. regenerační vzduch o vysoké teplotě (až 130 °C). Tento příspěvek se odvlhčovacím rotorům více nevěnuje.

## KONSTRUKCE

Základními částmi rotačního výměníku jsou rotor (akumulační hmota), rámová konstrukce pro uložení rotoru a pohon. Rotor je často tvořen střídavě rádlovaným a rovným plechem. Zpravidla se rotor tvoří návinem, ovšem existují i konstrukce vrstvené, které jsou následně opracovány do kruhového tvaru.

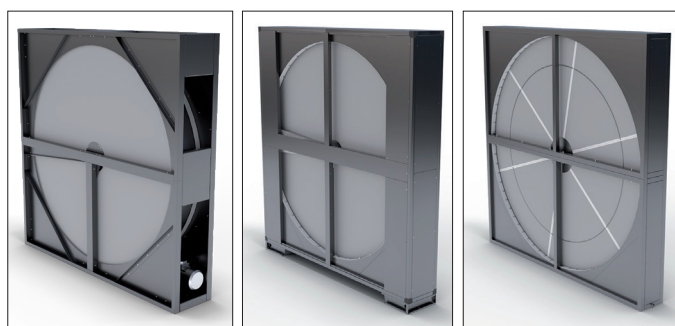
K výrobě rotoru se dnes používají nejrůznější materiály, např. hliníková slitina, různé druhy plastů, speciální materiály na bázi celulózy apod. Nejpoužívanějším materiálem je plech z hliníkové slitiny, resp. hliníková fólie o tloušťce v rozsahu 0,06 až 0,1 mm. Z použitého materiálu a skladby rotoru vyplývá jeho značná křehkost, což má dopad na manipulaci a montáž (viz dále). Výška vlny, resp. rádlování bývá v rozmezí 1,4 až 2,3 mm. Šířka rotoru bývá běžně 200 až 250 mm, což souvisí i s tlakovou ztrátou výměníku, která by se měla pohybovat optimálně v rozmezí od 100 do 150 Pa. Lze se setkat i s výměníky, kde je tato hodnota výrazně vyšší, až 250 Pa, což má vliv na výslednou spotřebu energie ventilátorů. Průměry mohou být v širokém rozmezí hodnot od 0,2 m do 5 m.

### Rozdělení rotačních výměníků

Podle konstrukce rotoru rozlišujeme:

- ☐ rotory vcelku,
- ☐ dělené rotory.

Rotory vcelku jsou standardně vyráběny na speciálních linkách návinem svitkového plechu na náboj (střed). Navinutý rotor je následně opláštěn hliníkovým plechem tl. 2 až 3 mm a doplněn o zpevňující tyče tak, aby tvořil kompaktní celek. Nedešené rotory se vyrábějí s ohledem na dopravu a montáž do průměru 3 m. Dělené rotory lze vyrobit v libovolném průměru. Důvodem pro použití děleného rotoru jsou nejen obtížné podmínky pro přepravu na místo určení a manipulaci na stavbě, ale i zvýšení tuhosti rotoru. Těto vlastnosti se využívá zejména pro výměníky instalované v horizontální poloze. Pro výměníky o průměru rotoru větším než 3 m je dělené provedení z výše uvedených důvodů standardem.



a)

b)

c)

Obr. 3 Příklady provedení rámové konstrukce:

a) plechový rám; b) montovaný rám; c) svařovaný rám

Fig. 3 Examples of frame construction:

a) sheet metal frame; b) assembled frame; c) welded frame

Podle konstrukce rámu, ve kterém je rotor výměníku umístěn, rozlišujeme:

- ☐ plechové rámy,
- ☐ montované rámy,
- ☐ svařované rámy.

Plechový rám je vyroben z profilů z pozinkovaného plechu, které jsou navzájem spojeny do prostorového rámu. Tato konstrukce není opláštěná a je možné ji vsunout do konkrétní klimatizační jednotky. Jedná se o nejjednodušší řešení vhodné např. pro malé větrací jednotky. Montované provedení je tvořeno z válcovaných profilů, které jsou navzájem spojeny rohovníky a šroubovými spoji. Toto řešení se používá pro větší jednotky, kdy výměník tvoří samostatnou komoru. Svařované provedení je tvořeno z uzavřených válcovaných profilů a vyznačuje se nejvyšší tuhostí. Je vhodné pro největší průměry rotorů a pro umístění výměníků v horizontální poloze. Rotační výměníky v montovaném a svařovaném provedení mohou být již z výroby opláštěny tepelněizolačními panely.

### Vyztužení rotoru

Pro zvýšení tuhosti jsou k sobě obě vrstvy plechu (rovného a rádlovaného) lepeny. Navíc je rotor zpevněn hliníkovými kruhovými nebo plochými tyčemi, které jsou pevně spojeny s nábojem a opláštěním rotoru. Pro speciální použití jsou hliníkové tyče nahrazeny nerezovými. Dělený rotor je oproti standardnímu zpevnění navíc zpevněn profily, tzv. paprsky, které spojují jednotlivé části děleného rotoru.

## Těsnicí prvky

Účelem těsnění rotačního výměníku je zabránit nežádoucímu mísení proudů odváděného a přiváděného vzduchu. Rotační výměník obsahuje těsnění po obvodu oběžného kola a těsnění v místě dělicí roviny proudů vzduchu. Těsnění rotačního výměníku může být:

- ☐ bezdotykové – plstěné,
- ☐ dotykové – kartáčové,
- ☐ speciální – např. labyrintové.

Bezdotykové těsnění vykazuje netěsnost cca 5 až 8 %, dotykové pak 3 až 5 %. V současné době nejúčinnější těsnění rotačních výměníků na trhu je labyrintové těsnění, jehož netěsnost se udává do 1,5 %. Labyrintové těsnění mezi obvodem rotoru a rámem tvoří dva speciální profily. Pevný profil připevněný na obvodu rotoru a pružný profil – manžeta, osazená na čelním segmentu rámu výměníku. Tyto profily mezi sebou tvoří uzavřený labyrint. V místě dělicí roviny je připevněn speciální plastový profil s lamelovými bříty, které doléhají k čelní ploše rotoru.

## Vyplachovací komora

Vyplachovací komora je klínovitá komora, umístěná v dělicí rovině výměníku, jejímž účelem je minimalizovat kontaminaci přiváděného vzduchu škodlivinami ze vzduchu odváděného – znehodnoceného, k čemuž dochází díky otáčení rotoru výměníku. Vyplachovací komora tak tvoří zkrat mezi přívodní a odvodní komorou jednotky, kterým je přímo odváděna část přiváděného vzduchu, což má za následek snížení účinnosti přenosu energie až o 5 %. Vyplachovací komoru není nutné použít vždy, naopak je v některých případech lepší se jejímu použití raději vyhnout.

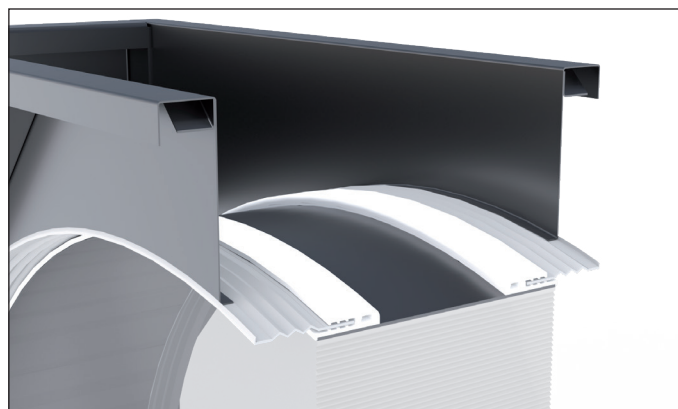
Použití a velikost vyplachovací komory závisí na:

- ☐ poloze ventilátorů a hodnotě statického tlaku,
- ☐ rychlosti otáčení rotoru,
- ☐ vstupní rychlosti vzduchu,
- ☐ výšce vlny a typu rotoru, resp. na tlakové ztrátě rotoru.

Hlavní vliv na správnou funkci vyplachovací komory má umístění a tlakové poměry ventilátorů ve VZT jednotce. Nejvhodnější poloha rotačního výměníku v jednotce je na sací straně ventilátorů při protiproudém provedení. V odvodní části rotoru nesmí nikdy nastat přetlak vzhledem k přívodní části. Doporučený přetlak v přívodní části je 50 až 500 Pa.

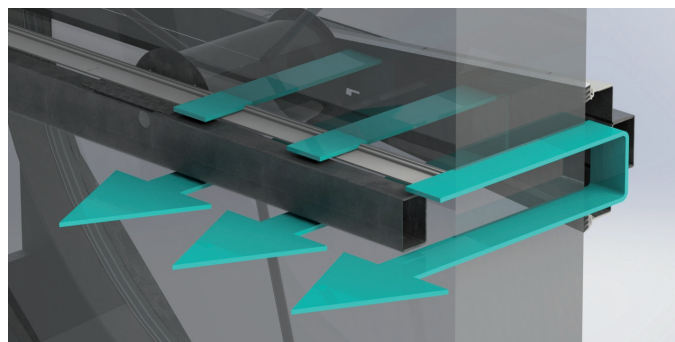
V závislosti na velikosti přetlaku a rychlosti otáčení se nejčastěji volí úhel vyplachovací komory:

- ☐ při přetlaku 50–250 Pa  $2^\circ \times 5^\circ$
- ☐ při přetlaku 250–500 Pa  $2^\circ \times 2,5^\circ$



Obr. 4 Labyrintové těsnění

Fig. 4 Labyrinth sealing



Obr. 5 Proudění vzduchu vyplachovací komorou

Fig. 5 Air flow through the purge section

## Pohon rotoru

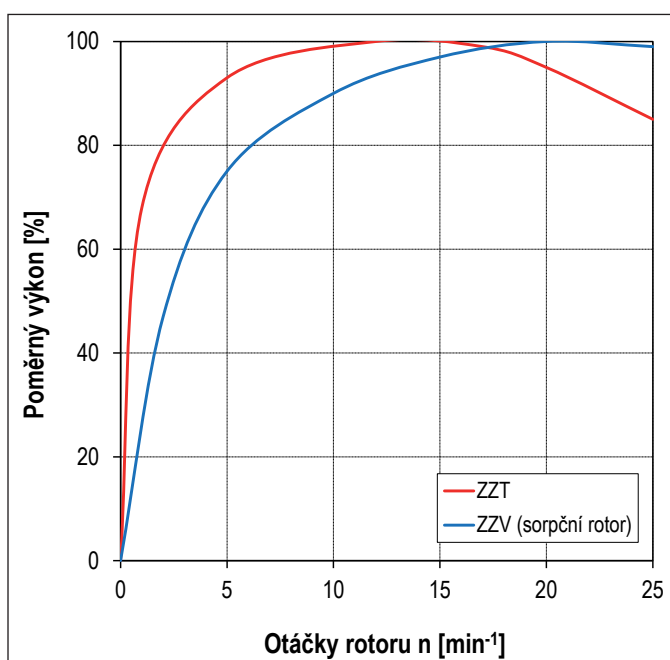
Pohon rotačního výměníku se skládá z elektromotoru s převodovkou, řemenice a řemenu. Nejpoužívanějším typem motorů jsou klasické AC motory se šnekovou převodovkou, dále speciální AC motory s kuželocelnicí převodovkou, které jsou schopné regulace v širším pásmu jejich výkonu. V dnešní době se začínají prosazovat moderní krokové motory. Použití EC motorů pro pohon rotačních výměníků je zatím méně časté z důvodu jejich složitějšího řízení. Nicméně se dá předpokládat, že postupem času se začnou prosazovat i v této oblasti vzduchotechniky.

## Snímač tlaku

Provozem výměníku, i přes použití kvalitní filtrace, dochází k zanášení kanálků rotoru výměníku. Pro sledování stupně znečištění se doporučuje výměník vybavit snímačem statického tlaku pro sledování tlakové ztráty výměníku. V případě indikace zvýšení tlakové ztráty je nutné rotor výměníku vyčistit buď ručně, nebo automatickým čisticím zařízením (viz níže).

## REGULACE ROTAČNÍHO VÝMĚNÍKU

Rotační výměník je možné provozovat s konstantními otáčkami (bez regulace), nebo s řízením otáček rotoru. Proměnné otáčky se uplatní především pro regulaci výkonu výměníku, pro rozběh rotorů o velkých



Obr. 6 Závislost výkonu rotoru na otáčkách (ilustrativní graf)

Fig. 6 Dependence of rotor power on rotational speed (illustrative graph)

průměrech nebo při čištění rotoru pomocí automatického čistícího zařízení. V nezbytném případě lze snížení otáček rotoru využít i k jeho protimrazové ochraně (otáčky rotoru pod 1 min<sup>-1</sup>).

Nejvyšší účinnosti přenosu tepla dosahuje rotor pro zpětné získávání tepla při otáčkách 10 až 15 min<sup>-1</sup>, u rotorů se současným zpětným získáváním vlhkosti se maximálního výkonu dosáhne přibližně při otáčkách 20 min<sup>-1</sup>. Regulace výkonu rotačních výměníků je omezená, neboť dosahují cca 80 % svého nominálního výkonu už od minimálních otáček. Pro regulaci výkonu jsou proto vhodné speciální AC motory, u kterých výrobce umožňuje nastavit otáčky v rozsahu frekvencí 5 až 120 Hz, nebo krokové motory, které se regulují v celém rozsahu otáček změnou napětí řídicího signálu 0 až 10 V do jeho řízení.

## MANIPULACE A MONTÁŽ

### Doprava a manipulace

Rotor rotačního výměníku je z důvodu své skladby značně křehký a náchylný k poškození. Při manipulaci se proto musí chránit před mechanickým poškozením. Vzhledem ke své značné hmotnosti (pro průměr rotoru 3 000 mm až 500 kg) a vysoko položenému těžišti je velice náchylný k překlopení, a je tedy nutné dbát značné opatrnosti při jeho přepravě. Rotační výměník musí být vždy přepravován ve svislé poloze (tzn. osa rotace rotoru horizontální) a není přípustné ani krátkodobé položení nebo naklonění výměníku z důvodu lepší

manipulace. Položení nebo naklonění výměníku může vést pouze k nepatrné poruše (rozvolnění) návinu rotoru, ale tím může při následném provozu a cyklickém namáhání rotoru dojít k jeho nevratnému poškození. Také při skladování výměníku na stavbě je nutné, kromě jeho ochrany před mechanickým poškozením, dbát na zajištění proti překlopení.

### Montáž rotačních výměníků

Montáž rotačního výměníku se liší podle typu a konstrukce. Následující odstavce popisují montáž jednotlivých typů.

#### Montáž výměníků vcelku

Výměník v plechovém provedení rámu slouží jako vsuvný modul do komory vzduchotechnické jednotky. Výrobce jednotky pak zajišťuje dotěsnění výměníku v komoře jednotky. Plechové provedení rámu není samonosné. Montované a svařované provedení rotačního výměníku může být doplněno tepelněizolačními panely a může sloužit jako samostatná komora jednotky. Na tyto konstrukce mohou být přímo napojeny vzduchovody, nebo navazovat stavební konstrukce (v případě umístění výměníku ve stavbě).

#### Montáž dělených výměníků

Montáž rotačního výměníku v děleném provedení je podstatně složitější. Ve většině případů se dodává předmontovaná spodní polovina, přičemž horní polovina výměníku se musí sestavit přímo na místě použití. Jednotlivé díly (segmenty) výměníku se montují do paprsků a po obvodu se stahují opláštěním.

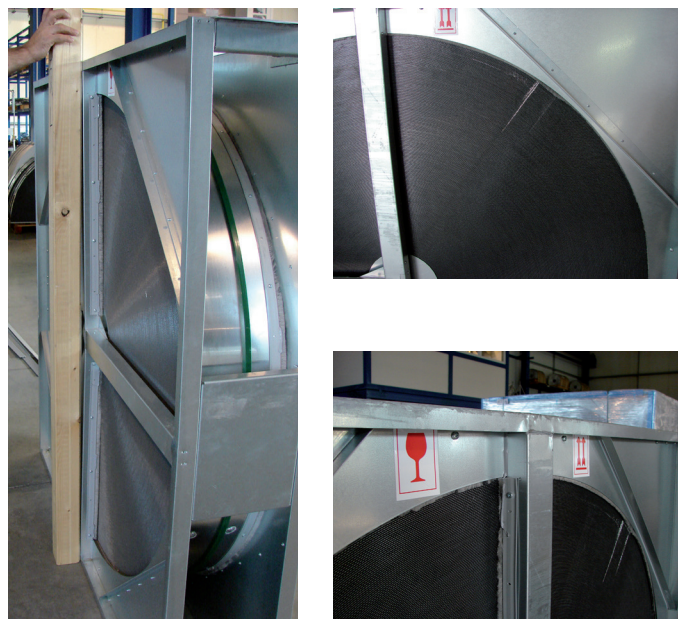
#### Dělený výměník připravený k montáži pouze ze dvou dílů

Jelikož je montáž dělených výměníků náročná jak z hlediska odbornosti, tak z hlediska časové náročnosti (musí ji provádět odborná montážní firma), je v současné době na trhu k dostání i dělený rotační výměník s předmontovaným rotorem v obou polovinách rámu.

Na stavbě se tyto poloviny rotačního výměníku smontují spojovacími prvky. Současně s tím se demontují fixační prvky určené pro přepravu. Rychlost montáže je při použití tohoto řešení 10× kratší než montáž standardního děleného výměníku.



Obr. 9 Předmontovaný dělený výměník  
Fig. 9 Pre-assembled divided heat exchanger



Obr. 7 Poškození rotačního výměníku po jeho překlopení  
Fig. 7 Damage to the rotary heat exchanger after its turning over



Obr. 8 Montáž děleného výměníku  
Fig. 8 Assembly of a divided heat exchanger

## PODMÍNKY PROVOZU

Podmínky provozu rotačního výměníku by se měly v co nejvyšší míře blížit podmínkám jeho samotného návrhu. Běžné provedení rotačních výměníků je konstruováno pro prostředí s teplotou  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  až cca  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tyto limity odpovídají u většiny standardních výměníků také teplotám dopravované vzdušiny. Při nízkých podnulových teplotách je však zapotřebí řešit protimrazovou ochranu výměníku. Platí to především pro teplotní rotory, ve kterých může nastat kondenzace vodní páry, což má za následek vznik námrazy vedoucí ke zneprůchodnění kanálků a v krajním případě až k nevratnému poškození rotoru.

Při provozu je nutné dodržet maximální povolenou rychlost proudění vzduchu, v kterémkoliv místě rotoru, stanovenou výrobcem pro dané provedení výměníku, aby nevznikalo místní namáhání rotoru a při jeho otáčení následně nedošlo k jeho trvalé deformaci.

Při návrhu skladby vzduchotechnické jednotky je nutné brát zřetel na umístění ventilátorů a jejich dopravní tlak. Ideální umístění rotačního výměníku je na sací straně ventilátoru, čímž je dosaženo rovnoměrného rozložení vzduchu proudícího rotorem.

Z hlediska údržby a případného servisu je potřeba před a za rotačním výměníkem instalovat volné komory (v přívodní i odvodní části), nebo alespoň filtrační komory s odnímatelnými filtry. Pokud toto není možné, je nutné zajistit dostatečný prostor před jednotkou k případnému vysunutí výměníku pro jeho servis.

## ÚDRŽBA A SERVIS

### Pravidelná údržba

V rámci údržby rotačních výměníků je nutné kontrolovat napnutí poháňacího řemenu, těsnění rotoru, zanášení rotoru a napnutí obvodového opláštění u děleného provedení rotačního výměníku. Dále je potřeba v intervalech stanovených výrobcem provádět promazání ložisek výměníku.

### Poruchy rotačních výměníků a jejich oprava

V případě absence pravidelného servisu může dojít k zanesení a případně k poškození rotoru, poškození ložisek, přetržení řemene nebo k poškození těsnění. Logicky následuje snížení účinnosti, což představuje výraznou finanční ztrátu z důvodu nefunkčnosti ZZT a ZZV.

Mezi nejzávažnější poruchy rotačního výměníku patří poškození výztužných tyčí v rotoru. V případě podezření na jejich poruchu musí být výměník ihned odstaven z provozu a musí být provedena jejich kontrola. Ta je prováděna ultrazvukovým měřením, které odhalí jejich možné poškození. Pokud nastane jejich popraskání, dochází k rozvolnění návinu rotoru a rotor se v krátké době přestane otáčet. Výměna výztužných tyčí je velmi náročná a možnosti jsou omezené. Ve většině podobných případů následuje výměna celého rotoru, což je finančně velmi nákladné.

### Čištění výměníků

Jako každý výměník, opatřuje se i rotační výměník na vstupu filtrací třídy minimálně G4. Rotační výměníky mají, už ze svého principu, určitou samočisticí schopnost. Ta je zajištěna cyklickým otáčením mezi proudy přívodního a odváděného vzduchu, kdy usazené nečistoty na jedné straně rotoru jsou strženy do druhého proudu vzduchu. Tato samočisticí schopnost má ovšem své limity. Především v průmyslových aplikacích dochází k postupnému zanášení kanálků rotoru nečistotami. Moderní rotační výměníky mohou být pro tento případ doplněny plně automatickým čisticím zařízením, které využívá tlakový vzduch nebo tlakovou vodu, případně jejich kombinaci (závisí na typu znečištění). Jedná se o autonomní systém, který je napojen na řídicí systém VZT. Čištění se provádí automaticky po překročení nastaveného tlakového rozdílu. Výhodou tohoto zařízení je možnost čištění rotoru za běžného provozu.



Obr. 10 Poškození výztužných tyčí a uvolnění návinu rotoru

Fig. 10 Damage to the reinforcement rods and loosening of the rotor winding



Obr. 11 Automatické čisticí zařízení rotačního výměníku

Fig. 11 Automatic cleaning device for rotary heat exchanger

## ZÁVĚR

Rotační výměníky pro zpětné získávání tepla a vlhkosti jsou prvkem vzduchotechniky, který má specifické vlastnosti a podle toho je potřeba s nimi zacházet. Příspěvek se snažil přiblížit hlavní zásady při návrhu, montáži, provozu a údržbě předmětného zařízení, které je hojně využíváno zejména pro větší vzduchotechnické systémy z důvodu kompaktnosti a vysokých teplotních faktorů.

Kontakt na autora: martin.postupa@kastt.cz

### Použité zdroje:

- [1] ASHRAE Handbook, Chapter 44 – Air to Air Energy Recovery.
- [2] POSTUPA, M. Moderní rotační výměníky tepla. TZB-info. 2017.
- [3] Nařízení Komise (EU) č. 1253/2014 ze dne 7. července 2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek [online]. Evropský parlament: 2014. Dostupné z: <http://www.eur-lex.europa.eu>
- [4] EN 308:2007. Heat exchangers – Test procedures for establishing the performance of air to air and flue gases heat recovery devices.
- [5] Kastt, spol. s r.o. [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.kastt.cz>