



ROTAČNÍ REGENERAČNÍ VÝMĚNÍK ZZT V PRAXI. VLIV OTÁČEK KOLA NA PŘENESENÝ VÝKON. FUNKCE A PŘÍKLADY POUŽITÍ, EVENT. NEPOUŽITÍ PROPLACHOVACÍ KOMORY V DĚLÍCI ROVINĚ KOLA.

Ing. Karel Matějčík

Inženýrská činnost

karel@ingmatejicek.cz

ANOTACE

Článek se zabývá problematikou návrhu a provozu rotačních regeneračních výměníků (RRV) používaných ve vzduchotechnických (VZT) systémech k regeneraci přiváděného vzduchu - rekuperaci tepla a změnou vlhkosti, mezi odpadním vydechovaným a čerstvým přivodním venkovním vzduchem. Autor upozorňuje na časté provozní problémy a nesprávnou funkci těchto zařízení, které mnohdy pramení již z chyb v projektové dokumentaci.

Príspevek se zaměřuje na klíčové aspekty ovlivňující výkon a účinnost RRV a míru znečištění přivodního vzduchu odtahovaným. Jde hlavně o:

- **Vliv umístění kola RRV vzhledem k umístění přivodního a odtahového ventilátoru.**
- **Funkce proplachovací komory, kde MÁ být a kde NESMÍ být.**
- **Vliv použitého materiálu teplosměnné plochy kola na přenos vlhkosti.**
- **Vliv otáček regeneračního kola na přenesený výkon.**
- **Integrace RRV do systémů měření a regulace (MaR).**
- **Údržba, čištění kola**

Text si klade za cíl poukázat na složitost správného návrhu a umístění RRV, ačkoliv se jejich princip může zdát na první pohled velmi jednoduchý.

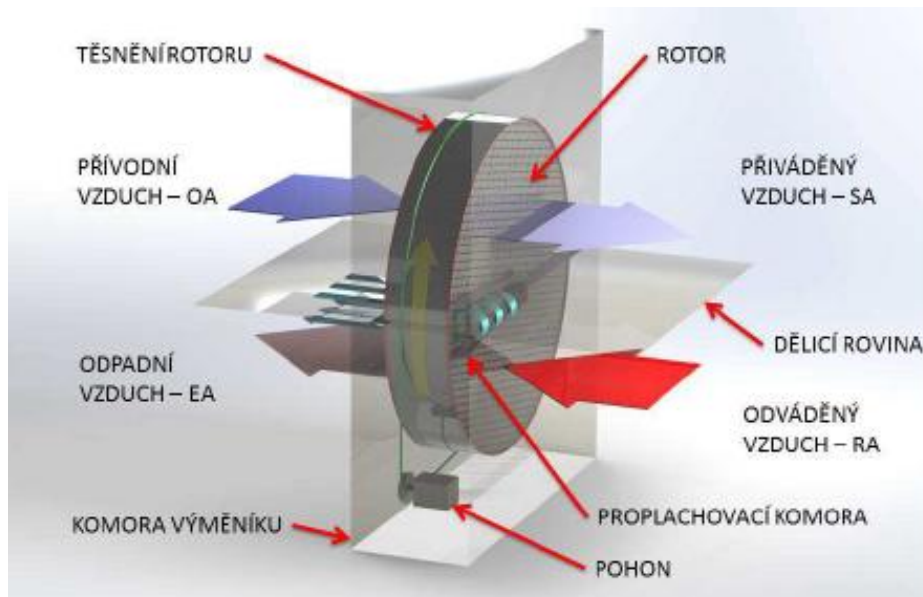
ÚVOD

Stále častěji jsou ve vzduchotechnických systémech pro zpětné získávání tepla (ZZT) navrhovány a provozovány rotační regenerační výměníky (RRV), které slouží k přenosu tepla, případně i vlhkosti, mezi odváděným a nasávaným venkovním vzduchem. Přestože se může na první pohled zdát, že jejich funkce je relativně jednoduchá, opak je často pravdou.

V praxi se lze setkat s případy, kdy rotační regenerační výměníky neplní řádně svou funkci, přičemž příčina těchto problémů často vzniká již ve fázi projektového návrhu. Tento příspěvek je zaměřen na vliv umístění rotačního kola v jednotce, vliv proplachovací komory na vzduchotěsnost v dělicí rovině kola, která má přímý dopad na snížení či zvýšení přenášeného výkonu a míru znehodnocení přivodního čerstvého vzduchu vzduchem odváděným. Dále se zabývá vlivem použitého materiálu na přenos vlhkosti, přenášený výkon řízením otáček kola, zapojením RRV do systému MaR, včetně ochrany kola proti destrukci. V závěru rovněž i požadavky na obsluhu a údržbu.

ROTAČNÍ REGENERAČNÍ VÝMĚNÍK ZZT V VZT JEDNOTCE

Pro další popis systému RRV je zvolena pozice kola, kdy čerstvý vzduch přivodní jednotky je nasáván v horní části VZT jednotky a odtahovaný je ve spodní části jednotky.



Obr 1 Schéma rotačního výměníku ve VZT jednotce

Teplotní rotor – je ve většině případů navinut z hliníkové (Al) fólie a slouží primárně:

K přenosu tepelné energie (vždy dochází i k částečnému přenosu vlhkosti). V zimním období zvyšuje teplotu a vlhkost přívodního vzduchu přenosem z vydechovaného vzduchu, v letním období snižuje teplotu a odvlhčuje přívodní vzduch do vydechovaného vzduchu.

K přenosu tepla a požadované vlhkosti – hygroskopický rotor se ve většině případů používá Al fólie opatřená hygroskopickou vrstvou (např. zeolit), která umožňuje i přenos vlhkosti, a to s účinností až 90 %. Vrstva může být nanášena jen na určité části komůrky (jedné z folií, jednostranně/oboustranně) nebo v celém povrchu komůrky (obou foliích oboustranně).

Ideální instalace - PROTIPROUD

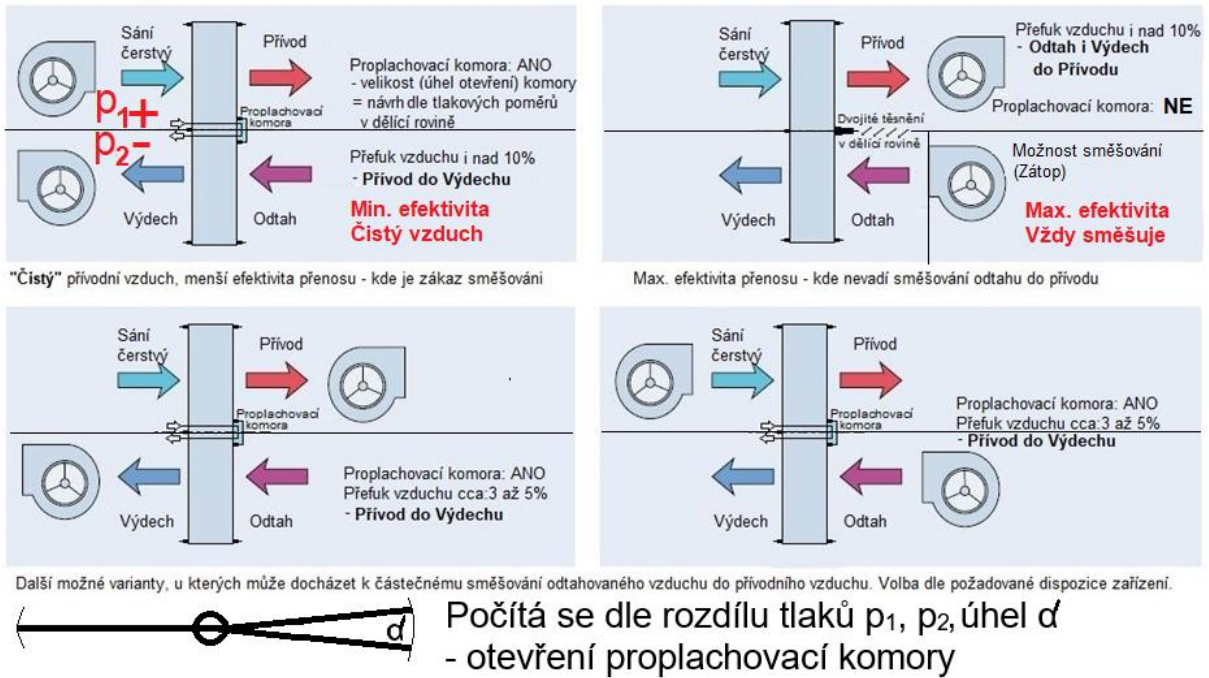
Vliv umístění kola RRV vzhledem k umístění přívodního a odtahového ventilátoru.

Dispozice kola v jednotce má zásadní vliv na efektivitu přenosu energií a na druhé straně na míru znehodnocení přívodního čerstvého vzduchu vzduchem odtahovaným.

Dle toho, co se při návrhu sestavy jednotky upřednostňuje/požaduje, zda má být co největší celkový přenesený výkon nebo je podstatná „čistota“ přívodního vzduchu bez směšování, se volí pozice ventilátorů v sestavě jednotky vzhledem ke kolu. Krajiní varianty jsou:

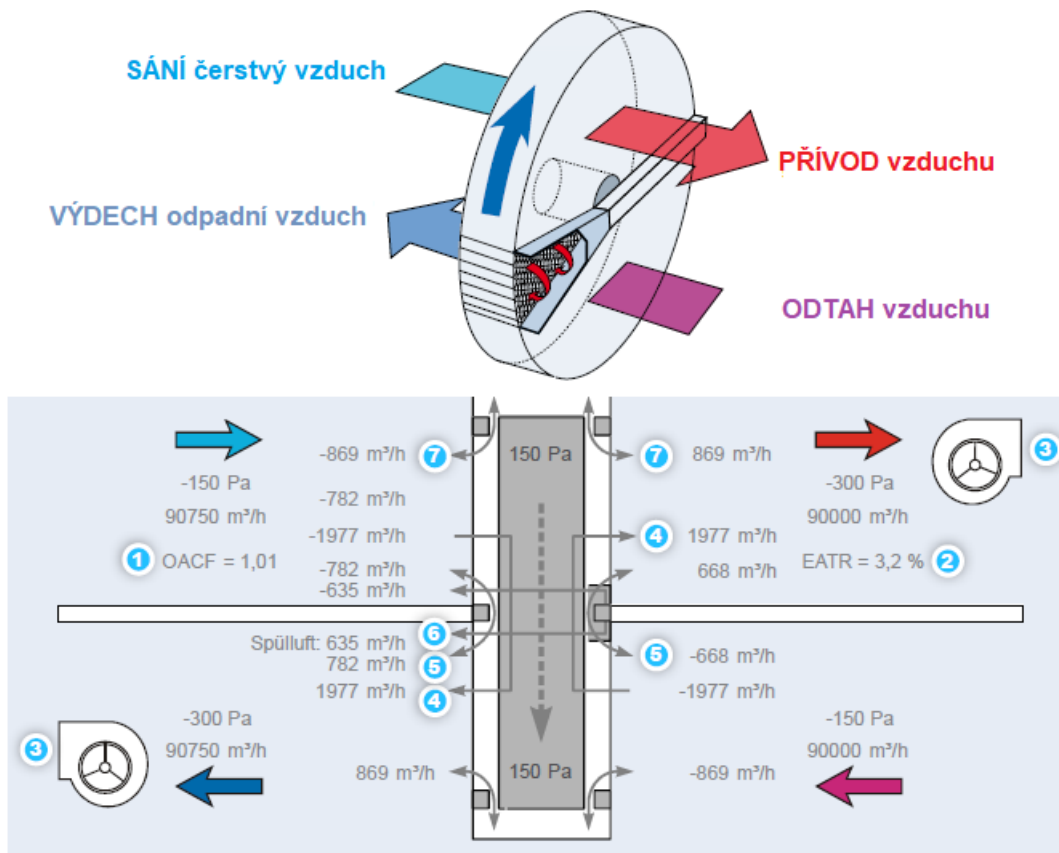
- Max. efektivita celé sestavy, s trvalou minimální cirkulací odtahovaného vzduchu netěsnostmi (cca 10%, někdy i více) do přívodního čerstvého vzduchu:
 - Ventilátor Přívod za kolem, ventilátor Odtah před kolem ve směru proudění vzduchu. V této sestavě je možné použít i směšovací komoru mezi odtahem a přívodem a maximalizovat tak i účinnost přenosu kola – kolem se nasává/vydechuje menší než výpočtové množství čerstvého vzduchu a jeho účinnost se může blížit i k 100% přenosu.
- Požadavek na čistý čerstvý přívodní vzduch - min. efektivita celé sestavy:
 - Ventilátor Přívod je před kolem – vytváří v dělicí rovině přetlak, ventilátor Odtah za kolem ve směru proudění vzduchu – vytváří v dělicí rovině podtlak. U této sestavy dochází netěsnostmi k přefuku nasávaného čerstvého, částečně již upraveného vzduchu, do odtahu a následně do výdechu. Zaručí se tak čistý přívodní vzduch na úkor mírného snížení efektivitu přenosu.

V odůvodněných případech je možné použít i méně časté varianty jako kompromis těchto dvou krajních – viz Obr. 2.



Obr. 2 Možnosti umístění ventilátorů v sestavách VZT jednotek vzhledem ke kolu RRV

V každém projektu musí být u specifikace VZT jednotky s RRV uvedeno, zda má být dle dif. tlaků v místě dělicí roviny nainstalována proplachovací komora nebo těsnící lišta. Pokud proplachovací komora, tak dle rozdílu tlaků provést dle podkladů výrobce RRV výpočet pod jakým úhlem otevření, aby došlo k ideálnímu propláchnutí komůrek bez nadměrných ztrát.



Obr. 3 Příklad netěsností u rotačního výměníku s ventilátorem Přívod i Odtah za kolem

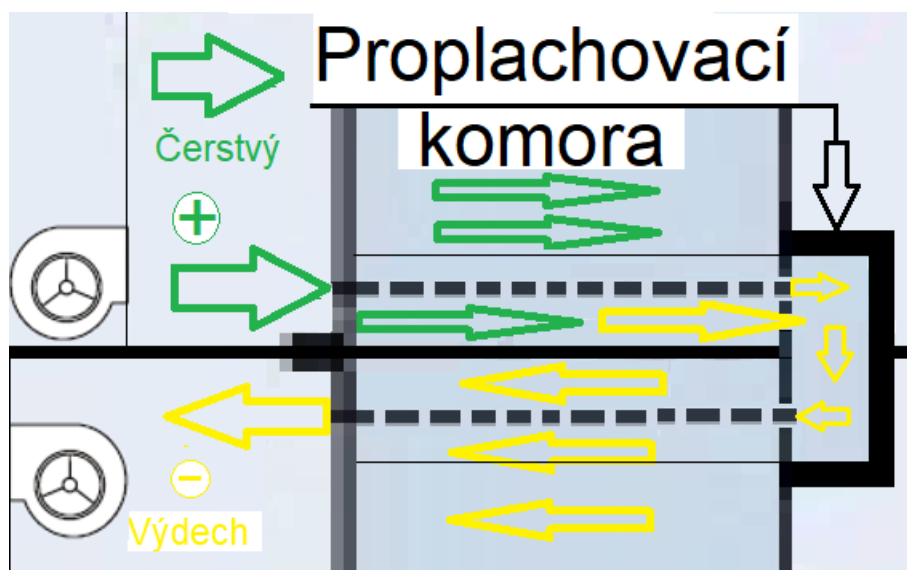
Funkce proplachovací komory, kde MÁ být a kde NESMÍ být

V závislosti na poloze přívodního a odtahového ventilátoru vůči rotačnímu kolu a na tlakových poměrech v dělicí rovině rotačního kola, je nutné v této rovině navrhnout buď **proplachovací komoru** nebo **dvojité radiální těsnění**, aby se zabránilo nežádoucímu přefuku vzduchu mezi

odtahovaným a přivodním vzduchem. Nesprávná volba, zda nainstalovat proplachovací komoru nebo radiální těsnění může vést jak ke snížení přenášeného výkonu, tak ke zvýšenému znehodnocení přivodního vzduchu vzduchem odtahovaným.

Požadavek na instalaci proplachovací komory

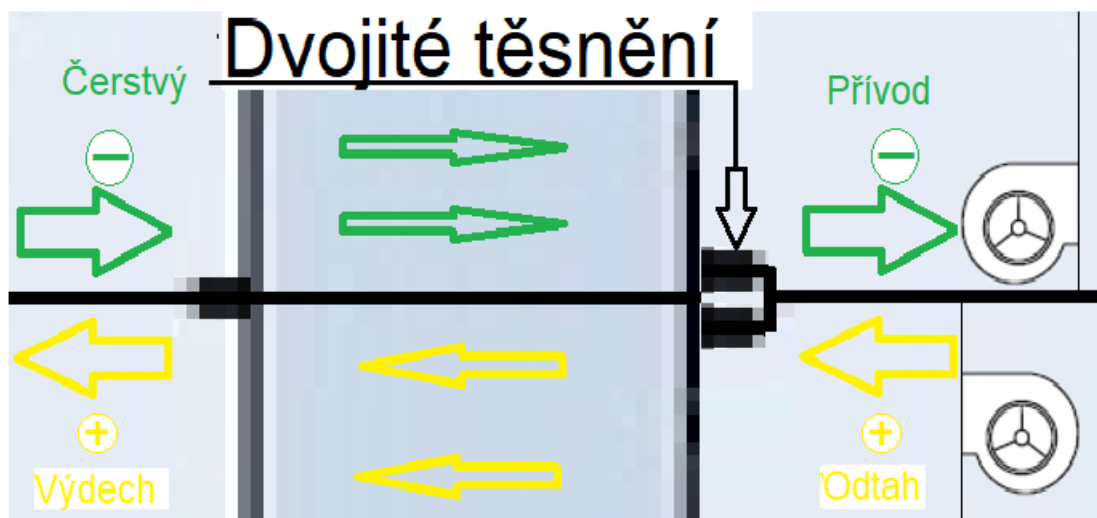
Při přetlaku mezi komorou přívodu čerstvého vzduchu (+) vzhledem ke komoře výdechu (-) (většinou rozdíl tlaku > cca 100–150 Pa) se instaluje **proplachovací komora**, s různým úhlem otevření komory dle velikosti přetlaku – nutno počítat a navrhovat do zadání dle podkladů výrobce RRV.



Obr. 4 Proplachovací komora v dělicí rovině při přetlaku v komoře přívod

Požadavek na instalaci dvojitého radiálního těsnění

Při přetlaku mezi komorou odtahu / výdechu odváděného (znehodnoceného) vzduchu (+) vzhledem ke komoře přívodu čerstvého vzduchu (-) se **musí instalovat** v dělicí rovině **dvojitě radiální těsnění** pro zajištění co největší těsnosti v rovině kola.



Obr. 5 Dvojitě radiální těsnění v dělicí rovině při přetlaku v komoře odtah/výdech vzhledem k přívod

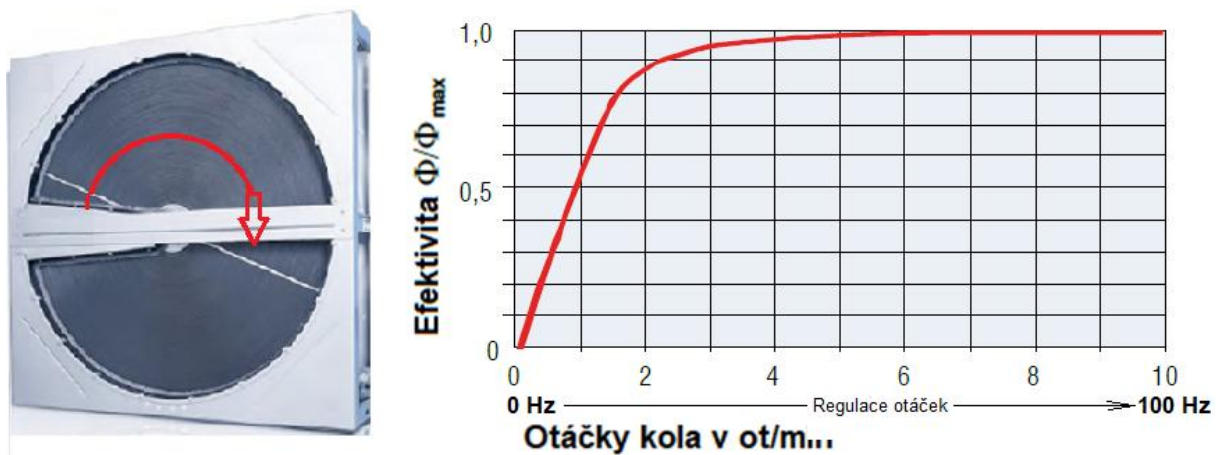
Důsledky chybné instalace proplachovací komory: Pokud je v rovině kola v komoře odtah přetlak větší než v komoře přívod (Vzájemný výsledek dif. tlaků Odtah(+), Přívod(-)), nainstalovaná proplachovací komora místo radiálního těsnění zapříčiňuje, že se znehodnocený vzduch z odtahu proplachovací komorou přisává do nasávaného venkovního čistého vzduchu a následně do přiváděného vzduchu jednotky.

Vliv použitého materiálu teplosměnné plochy kola na přenos vlhkosti (vodní páry)

Rotační regenerační výměník (RRV) nepřenáší pouze teplo, ale také vlhkost ve formě vodní páry. Díky požadovaným hygroskopickým vlastnostem povrchů rotačního kola je umožněn přenos vlhkosti mezi odváděným a přiváděným vzduchem. Jedná se tedy o **entalpický přenos**, který zahrnuje jak citelné, tak i latentní teplo. I v případě, že rotační kolo není cíleně vyrobeno z hygroskopického materiálu, dochází vždy k určitému přenosu vlhkosti. Pokud je však požadována konkrétní úroveň přenosu vlhkosti, musí být tento požadavek výslovně uveden v zadání pro výrobu jednotky, v části *Požadavky na RRV*. Obvykle se specifikuje, na kolik ploch hliníkové fólie bude nanášena hygroskopická sorpční vrstva (nejčastěji na bázi zeolitu), která umožňuje adsorpci a následnou desorpci vodní páry během rotace kola. Možnosti jsou: jedna strana jedné folie, obě strany jedné folie. To samé i u druhé folie - buňku tvoří většinou dvě folie. Jedna hladká a druhá tvarovaná.

Vliv otáček regeneračního kola na přenesený výkon.

Nejčastější způsob regulace výkonu RRV, tzv. efektivity přenosu, je regulací otáček kola. Tato závislost je značně nelineární.

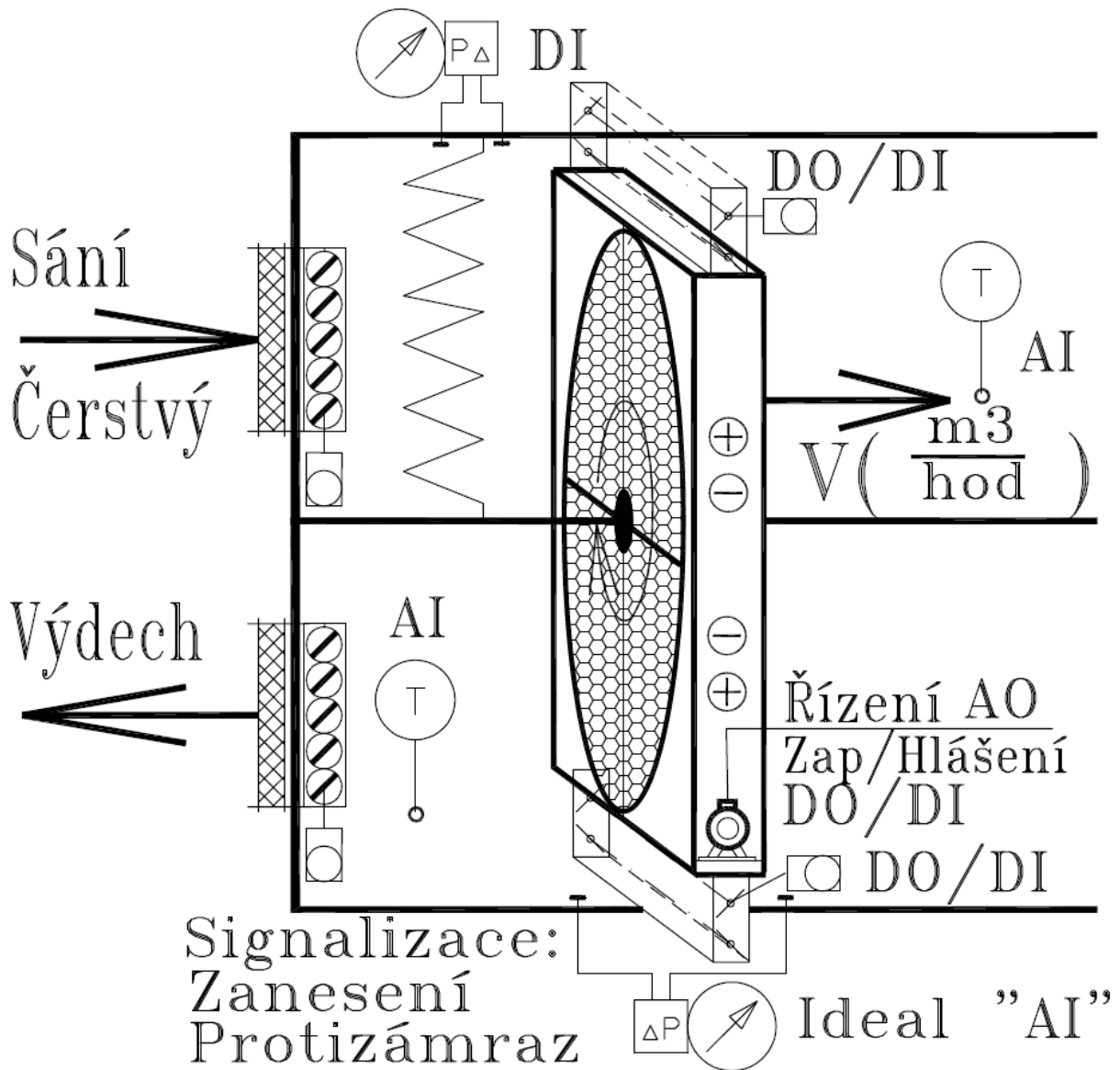


Obr. 6 Závislost efektivity přenosu tepla/vlhkosti na otáčkách kola

Doporučované max. otáčky kola jsou cca 10 ot/min. Zvyšování otáček kola nad cca 10 ot/min nemá z technického hlediska opodstatnění. Jak je patrné z grafické závislosti tohoto doporučení Obr.6, pro přenos energie jsou rozhodující otáčky rotačního kola přibližně do 50 % rozsahu regulace. Nejčastějším problémem v praxi je, že regulace otáček kola končí na minimálních hodnotách 1,5 ot/min, případně 1,0 ot/min. To má ve většině případů za následek, že při zastavení kola při těchto otáčkách dojde k bezdůvodnému otevření ventilu ohřevu a aktivaci protizámrazové ochrany. Chybí tam výkon kola v nízkých otáčkách, který je nahrazen výkonem ohříváče. Otáčky rotačního kola je proto vhodné regulovat v rozsahu přibližně 0,25–10 ot/min. Renomovaní výrobci tento požadavek často řeší nastavením maximálních otáček kola při výchozí frekvenci elektromotoru přibližně 100 Hz, případně použitím elektromotorů umožňujících plynulou regulaci otáček až k téměř nulovým hodnotám. Tím se rozšíří a zjemní celá regulace kola.

Integrace RRV do systémů měření a regulace (MaR), včetně ochranných mechanismů zabráňujících destrukci rotoru.

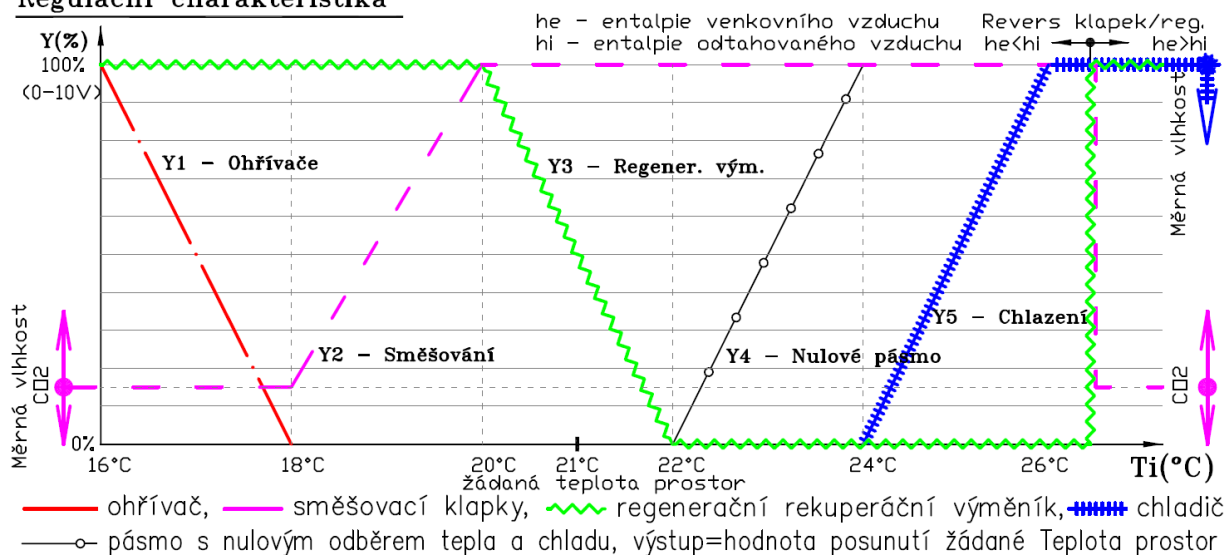
Připojení RRV do systému MaR musí zajistit regulaci jeho výkonu, signalizace/hlášení stavu provozu, protizámrazovou ochranu a ochranu proti axiálnímu přetížení kola proudícím vzduchem.



Ob. 7 Připojení RRV do systému měření a regulace (MaR)

Regulace výkonu rotačního regeneračního výměníku (RRV) v sestavě VZT jednotky Obr.7 vychází z předpokladu, že je vždy žádoucí zajistit maximální podíl čerstvého vzduchu při minimálním požadavku na externí energie. Spotřeba elektromotoru zajišťujícího otáčky rotačního kola je přitom ve srovnání s přeneseným energetickým výkonem zanedbatelná. V zimním období je proto rotační kolo uváděno do provozu jako první a vypínáno jako poslední při požadavku na dodávku energie do sestavy. V letním období je rotační kolo uvedeno do provozu na 100 % výkonu vždy, pokud má odváděný vzduch nižší entalpii (případně teplotu) než nasávaný venkovní vzduch. Uvedený princip je patrný z regulační charakteristiky VZT jednotky Obr.8, vybavené ohřivačem, chladičem, rotačním regeneračním výměníkem a směšovací komorou, pracující s nulovým pásmem energie. Výstupem této regulační sekvence jsou požadované výstupní signály pro jednotlivé segmenty VZT jednotky, v závislosti na vnitřní teplotě v klimatizovaném prostoru.

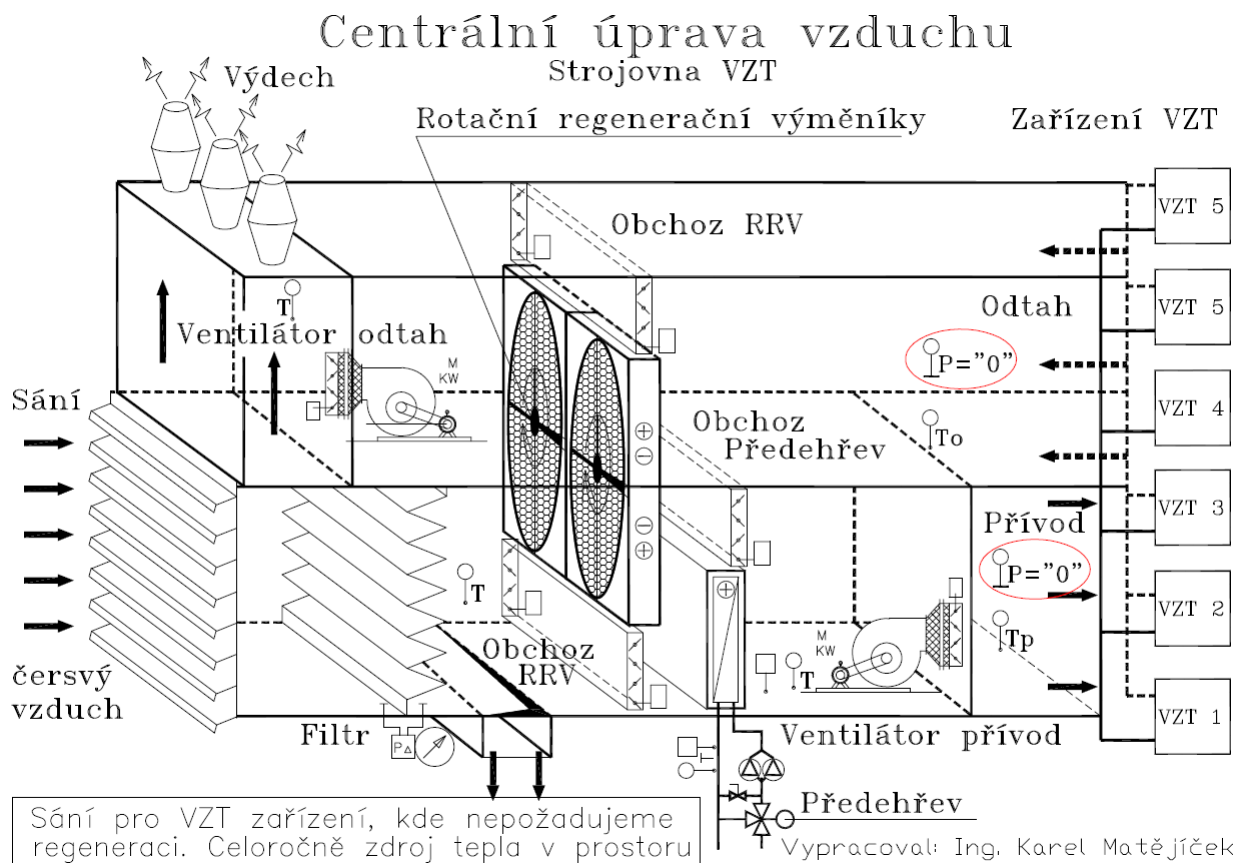
Regulační charakteristika



Obr. 8 Regulační charakteristika VZT jednotky

Ochrana rotačního kola RRV proti destrukci spočívá v kontrole tlakové ztráty kola (ideálně analogový signál dif. tlaku (AI-měří dif tlak) v komoře vydechovaného (odtahovaného) vzduchu. Tato tlaková ztráta nesmí překročit hodnoty udávané výrobcem, přičemž každý výrobce stanovuje maximální přípustné tlakové poměry na kole. Mezi hlavní příčiny zvýšení tlakové ztráty rotačního kola patří dodržení požadovaného množství procházejícího vzduchu je zanesení komůrek nečistotami a namrzání vzdušné vlhkosti v dutinkách kola. Namrzání vzdušné vlhkosti má na kolo dva zásadní dopady: jednak dochází ke zvyšování tlakové ztráty, jednak může vlivem objemových změn ledu docházet k mechanické destrukci dutinek rotoru. Nastavení snímače diferenčního tlaku se doporučuje na hodnotu přibližně o 100 Pa vyšší, než je deklarovaná provozní tlaková ztráta kola, avšak nikdy nesmí překročit maximální povolenou hodnotu tlakové ztráty kola udávanou výrobcem. Při vyhlášení signalizace překročení tlakové ztráty kola je nutné bezodkladně určit příčinu tohoto stavu, tj. zda se jedná o zanesení kola nečistotami, nebo o namrzání vlhkosti. V případě zanesení kola je nutné zařízení okamžitě odstavit z provozu a rotor mechanicky vyčistit – viz poslední kapitola. Pokud je nasáván venkovní vzduch o nízké podnulové teplotě, je pravděpodobnou příčinou signalizace namrzání vzdušné vlhkosti v dutinkách kola. Na tuto situaci musí systém MaR okamžitě reagovat snížením množství venkovního přiváděného studeného vzduchu při maximálních otáčkách kola (v tomto stavu je požadován maximální výkon kola RRV a minimální množství nasávaného studeného čerstvého vzduchu). To lze realizovat buď snížením otáček přívodního ventilátoru, nebo otevřením obtoku rotačního výměníku na straně přívodu. U větších zařízení se doporučuje a je energeticky vhodné obchozy kola instalovat. Snížením množství přiváděného studeného vzduchu, při současném zachování průtoku teplého odtahovaného vzduchu, dochází k odtání namrzlé vlhkosti a obnovení standardních provozních podmínek kola.

Rotační regenerační výměníky lze instalovat buď do jednotlivých vzduchotechnických sestav VZT jednotek, nebo do centrálních systémů úpravy vzduchu. Ve většině případů je z energetického hlediska výhodnější instalace rotačních regeneračních výměníků v rámci centrální úpravy vzduchu, kde lze efektivně využít rozdílné vzduchové a tepelné bilance jednotlivých provozů. U zařízení, u nichž není nutné předehřívání venkovního vzduchu (např pro prostory s celoročními zdroji tepla – serverovny), je vhodné čerstvý vzduch nasávat před rotačním kolem, zatímco teplý odpadní vzduch je do kola přiváděn. Ostatní vzduchotechnická zařízení s nízkými vlastními tepelnými zisky tak mohou využívat energii od zařízení s vyššími tepelnými zisky prostřednictvím centrálního rotačního výměníku. V závěru je uveden příklad instalace rotačního regeneračního výměníku v systému centrálního předehřevu České televize Obr.9.



Obr. 9 Příklad instalace RRV v systému centrálního předehřevu v ČT

Údržba, čištění kola

Minimálně dvakrát ročně (před zimním a letním obdobím) je nutno provádět:

- kontrola klidného chodu kola a ložisek (bez vibrací a házení),
- kontrola a seřízení vůlí mezi kolem a těsnicími lištami po obvodu i v dělicí rovině,
- pravidelné čištění rotačního kola dle provozních podmínek výrobce.

Kontrola a seřízení vůlí mezi kolem a těsnicími lištami po obvodu i v dělicí rovině,

Každý výrobce rotačního regeneračního výměníku (RRV) stanovuje požadované vzdálenosti mezi rotačním kolem a těsnicími lištami (cca 2 až 5mm), které se během provozu zvětšují. Tyto vzdálenosti je nutné pravidelně kontrolovat a v případě jejich nedodržení provést seřízení. Pokud jsou těsnicí lišty natolik opotřebované, že již neumožňují nastavení na předepsanou hodnotu, je nutné je vyměnit za nové. Příklady nadlimitních netěsností kol z auditních prohlídek, Obr. 10.

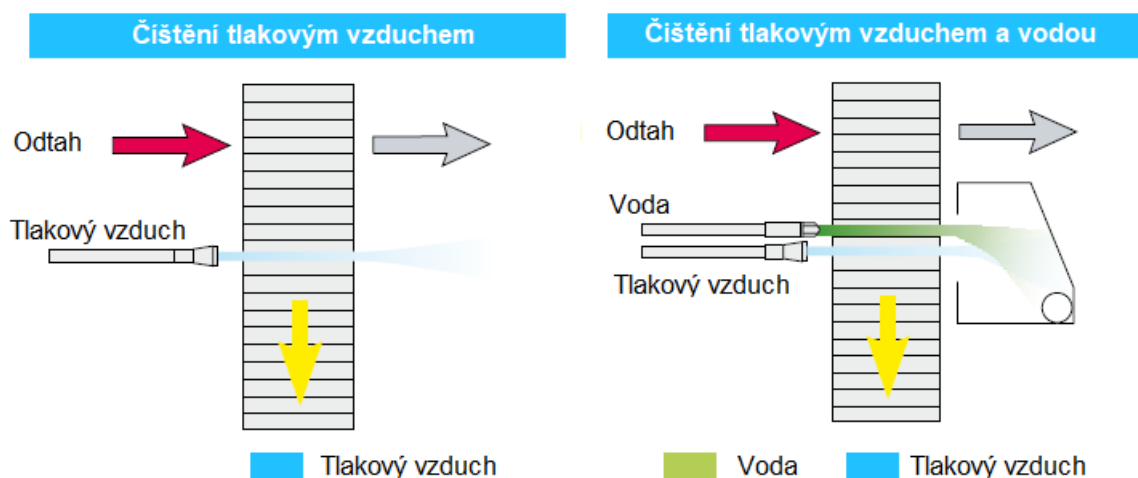


Obr. 10 Příklady nadlimitních netěsností mezi kolem a těsnicí lištou

pravidelné čištění rotačního kola dle provozních podmínek výrobce

U rotačních regeneračních výměníků dochází k částečnému samočištění komůrek tím, že se při každé otáčce kola mění směr proudění vzduchu jednotlivými kanálky. Přesto však postupně dochází k jejich zanášení, což vede ke snížení účinnosti přenosu energie a ke zvýšení tlakové ztráty kola. Zvýšená tlaková ztráta má za následek nadměrné axiální zatěžování rotačního kola. Komůrky rotoru lze čistit tlakovým vzduchem, vodou, případně kombinací obou metod, vždy v souladu s pokyny výrobce Obr. 10. Při čištění tlakovou vodou musí být tlak takový, aby nepoškodil teplosměnné voštiny.

Pozn.: U entalpických rotorů je nutné zohlednit, že vodní čištění může poškodit hygroskopickou vrstvu, a proto je třeba postup konzultovat s výrobcem.



Obr. 11 Čištění kola vzduchem, vodou, vzduchem i vodou

Závěr: Je velmi důležité věnovat návrhu i provozu rotačních regeneračních výměníků náležitou pozornost. Pouze za těchto podmínek lze dosáhnout požadované efektivity jejich instalace a zároveň minimalizovat negativní dopady jejich provozu.

Podklady:

KASTT® spol. s r. o.: Technické podmínky pro rotační výměníky ZZT:

https://www.kastt.cz/app/uploads/sites/54/2023/01/TECHNICKE_PODMINKY_RV-CZ_2022-07.pdf

KLINGENBURG: QuickGuide_en:

http://www.klingenburg.de/fileadmin/user_upload/germany/Downloads/ROTOR/klingenburg_QuickGuide_en.pdf

Kontakt na autora a další podklady a publikace k uvedené problematice:

karel@ingmatejcek.cz

<https://www.ingmatejcek.cz/>