

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

304 772

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

F25B 39/02 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013-8**
(22) Přihlášeno: **03.01.2013**
(40) Zveřejněno: **16.07.2014**
(Věstník č. 29/2014)
(47) Uděleno: **28.08.2014**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **08.10.2014**
(Věstník č. 41/2014)

(56) Relevantní dokumenty:

US 2011144807; US 2007163276; CZ 20080758.

(73) Majitel patentu:
PZP HEATING a.s., Dobré, CZ

(72) Původce:
Ing. Luděk Klazar, Litomyšl, CZ
Ing. Václav Rašek, Dobruška, CZ
Ing. Jiří Švorc, Lukavice, CZ
Ing. Richard Zakopal, Rokytnice v Orlických
Horách, CZ

(74) Zástupce:
Pavel Reichel a kol., Ing. Pavel Reichel, Lopatecká
14, 147 00 Praha 4

časových intervalech sumarizuje a jakmile suma jeho hodnot, která odpovídá množství námrazy na výparníku, přesáhne předem danou mezní hodnotu, iniciuje se odtávání výparníku.

(54) Název vynálezu:

**Způsob iniciace odtávání výparníků
tepelných čerpadel, odebírajících
nizkopotenciální teplo ze vzduchu**

(57) Anotace:

Předmětem vynálezu je způsob iniciace odtávání výparníků tepelných čerpadel odebírajících nizkopotenciální teplo ze vzduchu, s kompresorem, nejméně dvěma výměníky tepla a expanzním ventilem. Za provozu tepelného čerpadla se monitoruje časový průběh růstu námrazy na výparníku při vypařovacím tlaku, který je nižší než vypařovací tlak počátku vzniku námrazy (p_{oN}), a to tak, že se sleduje teplota (t_{ex}) okolního vzduchu a relativní vlhkosti (ϕ_{ex}) okolního vzduchu, vypařovací teplota (t_o) média v okruhu tepelného čerpadla a povrchová teplota na výparníku, které určují odvlhčení (Δx) a změny entalpie (Δh) při sledované změně vzniku a růstu námrazy, jejichž poměr se průběžně vyhodnocuje jako součinitel (K_n) tvorby námrazy, a současně se sleduje chladicí výkon (Q_o) okruhu tepelného čerpadla, daný chladicím výkonem kompresoru, který je hnacím prvkem tepelného čerpadla, a který závisí na vypařovací teplotě (t_o) média v okruhu tepelného čerpadla a kondenzační teplotě (t_k) v okruhu tepelného čerpadla, přičemž součin součinitele (K_n) tvorby námrazy a chladicího výkonu (Q_o) okruhu tepelného čerpadla se průběžně v předem určených

CZ 304772 B6

Způsob iniciace odtávání výparníků tepelných čerpadel, odebírajících nízkopotenciální teplo ze vzduchu

5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu iniciace odtávání, to je určení optimálního intervalu mezi jednotlivými odtáváním výparníků tepelných čerpadel „vzduch–voda“, používaných pro vytápění a/nebo ohřev užitkové vody případně jiných kapalin, kdy okruh tepelného čerpadla je tvořen kompresorem nebo kompresory, nejméně dvěma výměníky tepla, z nichž jeden zastává funkci výparníku a druhý funkci kondenzátoru a nejméně jedním expanzním ventilem.

Dosavadní stav techniky

15 Tepelná čerpadla představují obecně jeden ze základních prvků energeticky efektivního způsobu ohřevu různých látek. Principem dále sledovaných tepelných čerpadel je tzv. parní oběh, který z termodynamického pohledu představuje levotočivý oběh a který zajišťuje transformaci energie mechanické na energii tepelnou.

20 Tepelné čerpadlo pracuje tak, že v jednom výměníku tepla odebírá z okolí určité množství tepelné energie na „nízké“ teplotní úrovni (tzv. nízkopotenciální teplo) a ve druhém výměníku tepla předává „zhodnocenou“ tepelnou energii na „využitelné“ teplotní úrovni pro požadované účely, např. vytápění či ohřev určité látky. energii mezi výměníky převádí cirkulující pracovní látka (chladiivo) cyklickými změnami svého skupenství.

V prvním výměníku (výparníku – na primární straně tepelného čerpadla) odebírá teplo vypařováním, ve druhém výměníku (kondenzátoru – na sekundární straně tepelného čerpadla) odevzdává teplo kondenzací. „Zhodnocení“ tepelné energie co do kvality (teplotní úrovně) zajišťuje tepelné čerpadlo tak, že kondenzace probíhá při vyšší teplotě než vypařování (s rozdílem teplot cca 40 až 70 K). Tato kvalitativní „zhodnocení“ tepelné energie se dosáhne zvýšením tlaku kondenzačního oproti tlaku vypařovacímu. Potřebné zvýšení tlaku a současně cirkulaci pracovní látky zabezpečuje vhodný stroj – kompresor, pro jehož činnost se musí přivádět „hnací“ mechanická energie. Přivedenou energii převede kompresor do pracovní látky, tím zvýší nejen její tlakovou úroveň, ale i množství energie v ní obsažené. Opačný děj – nezbytné snížení tlaku pracovní látky z kondenzačního na vypařovací (tzv. škrcení), který zajišťuje vhodný expanzní ventil, není provázen žádnými energetickými změnami. V kondenzátoru je proto k dispozici nejen energie přivedená ve výparníku, ale i energie dodaná pro pohon kompresoru. Tepelné čerpadlo tedy „zhodnocuje“ nízkopotenciální tepelnou energii nejen co do kvality, ale i co do kvantity.

40 Vnější projevem každého tepelného čerpadla „vzduch–voda“ je ohřev teplé vody v kondenzátoru a chlazení (a odvlhčování) vzduchu ve výparníku. Tyto vnější projevy se označují jako vnější děj okruhu tepelného čerpadla. Ten je charakterizován parametry vnějšího děje, kterými jsou zejména výstupní teplota ohřívání topné vody (t_w) a vstupní teplota vzduchu (t_{ex}), který je nositelem nízkopotenciálního tepla.

Vnější děj tepelného čerpadla je samozřejmě podmíněn jeho vnitřním dějem, který představují změny skupenství ve dvou výměnících tepla. Ten je charakterizován parametry vnitřního děje, kterými jsou zejména teplota vypařovací (t_o) a teplota kondenzačního chladiva (t_k), cirkulujícího v okruhu.

55 Okruh tepelného čerpadla, stejně jako okruh chladicího zařízení má specifickou vlastnost, tzv. autoregulaci. Ta se projevuje tak, že při jakékoliv změně parametrů vnějšího děje autoregulace zcela samočinně přizpůsobuje parametry vnitřního děje tak, aby byl dosažen rovnovážný stav v celém systému.

Energetický efekt tepelného čerpadla charakterizuje tzv. ropný faktor, který je dán poměrem získané energie tepelné a vynaložené energie mechanické. Energetický efekt je dán tím, že topný faktor je vesměs větší než 1, z celoročního pohledu se při vytápění pohybuje okolo hodnoty 3.

5

V bytové výstavbě jsou pro vytápění pro svou jednoduchost zvláště výhodná tepelná čerpadla „vzduch–voda“, která odebírají nízkopotenciální teplo potřebné pro svou funkci z okolního vzduchu. Tato čerpadla jsou i nejekologičtější, protože oproti jiným druhům tepelných čerpadel, která odebírají nízkopotenciální teplo ze země, podzemních nebo povrchových vod nenarušují přírodní rovnováhu. Teplo odebrané ze vzduchu je totiž vzápětí tepelnými ztrátami vytápěného objektu do okolního vzduchu opět vráceno.

10

Základní nevýhodou tepelného čerpadla „vzduch–voda“ ale je, že odběr tepla ze vzduchu ve výparníku vede k ochlazení vzduchu, které je provázeno kondenzací vzdušné vlhkosti. Poklesne-li teplota okolního vzduchu pod určitou hodnotu, tzv. teplotu vzniku námrazy (t_{exN}) – větší než 0 °C, kdy povrchová teplota výparníku poklesne pod hodnotu 0 °C, zkondenzovaná vlhkost na ploše výparníku namrzá, vzniká námraza. Teplota vzniku námrazy (t_{exN}) není konstantní, závisí na řadě dalších parametrů, zejména vlhkosti vzduchu a teplotě ohřívání vody, která vlivem autoregulace chladicího okruhu ovlivňuje vypařovací teplotu a následně i povrchovou teplotu, která je pro vznik námrazy rozhodující. Tato teplota (t_{exN}) není proto pro indikaci počátku vzniku námrazy zcela jednoznačná. Směrodatná povrchová teplota je s ohledem na její ovlivňování vypařovací teplotou obtížně měřitelná, proto se jako nejhodnější parametr pro indikaci počátku vzniku námrazy na výparníku ukazuje teplota vypařovací.

15

20

Protože teplota vypařovací se neměří přímo, ale počítá se z měřeného vypařovacího tlaku, může se pro tuto indikaci použít přímo měřený vypařovací tlak a jeho hodnotu, při které začíná na výparníku vznikat námraza, označíme analogicky za tzv. vypařovací tlak počátku vzniku námrazy (p_{oN}). Tato mezní hodnota může být uvažována jako konstanta, nebo může být snadno vyjádřena jako funkce dalšího parametru, jmenovitě teploty otopné vody ($p_{oN} = f_{ce}(w)$).

30

Tloušťka námrazy, která představuje izolační vrstvu, při provozu tepelného čerpadla postupně roste. Tím se snižuje prostup tepla na výparníku, současně se zvyšuje odpor pro proudění vzduchu, což vede ke snížení průtoku vzduchu. To vše způsobuje snížení výkonu výparníku. Na to reaguje okruh tepelného čerpadla svou autoregulací změnou parametrů vnitřního děje, provázenou snížením výkonu chladicího ale i výkonu topného. Tyto skutečnosti jsou dále provázeny zvýšením měrného příkonu tepelného čerpadla. To vede k poklesu topného faktoru, tj. poměru topného výkonu a příkonu čerpadla. Energetická efektivita tepelného čerpadla klesá. Z toho důvodu je třeba vzniklou námrazu periodicky odtávat. Při podmínkách, kdy na výparníku námraza vzniká se pak základní pracovní režim, respektive režim vytápění musí periodicky střídát s režimem odtávání. Pracovní cyklus tepelného čerpadla „vzduch–voda“ se proto skládá z těchto dvou režimů, doba režimu vytápění je tedy kratší než celková doba cyklu.

35

40

Odtávání se nejjednodušeji zajistí přívodem tepla do výparníku. To se dá provést řadou způsobů, např. cirkulací vzduchu při provozní přestávce (to jen při teplotách okolního vzduchu větších než cca +2 °C), elektrickými topnými tělesy vloženými do teplosměnné plochy výparníku, reverzační funkce tepelného čerpadla, kdy z výparníku se stane kondenzátor a z kondenzátoru se stane výparník. Bez ohledu na to, jakým způsobem se teplo pro odtávání přivádí, respektive odtávání provádí, je odtávání energeticky náročné a vždy snižuje energetickou efektivitu tepelných čerpadel „vzduch–voda“. Proto je žádoucí volit nejen způsob odtávání, ale zejména jeho četnost tak, aby se energetická efektivita snížila co nejméně.

50

Energetická efektivita tepelného čerpadla se přitom snižuje v podstatě trojím způsobem:

1) vlastními energetickými nároky na odtávání (které jsou dány způsobem odtávání);

55

- 2) snížením účelně využitelné provozní doby tepelného čerpadla (režim vytápění je kratší než celková provozní doba cyklu);
- 3) u odtávání reverzací tepelného čerpadla využíváním tepla vyprodukovaného tepelným čerpadlem v režimu vytápění jako tepla nízkopotenciálního.

Řídicí systém tepelného čerpadla proto v režimu vytápění sleduje určitá kritéria a při splnění určitých podmínek iniciuje odtávání, respektive vyše impuls, který přepne režim vytápění do režimu odtávání. Právě tak sleduje určitá kritéria i v režimu odtávání a při splnění určitých podmínek vyše impuls, který přepne režim odtávání zpět do režimu vytápění. Pro zajištění maximální energetické efektivity tepelného čerpadla „vzduch–voda“ je třeba zajistit optimální střídání obou pracovních režimů, tj. pro iniciaci odtávání je třeba volit taková kritéria a nalézt takové podmínky, při nichž bude optimum dosaženo.

Problematika odtávání se dá popsat fyzikálním (technickým) modelem odtávání. Dále popsany model uvažuje s odtáváním reverzací funkce tepelného čerpadla a vychází ze skutečnosti, že okruh tepelného čerpadla disponuje již uvedenou autoregulací, která při změně vnějších pracovních podmínek (teploty vzduchu a ohřívané látky) samočinně upravuje vnitřní pracovní podmínky (teplotu vypařovací a kondenzační) tak, aby byla dosažena rovnováha. Při startu režimu odtávání je tepelné čerpadlo skokově „vyvedeno z rovnováhy“, tj. rovnovážný stav provozu tepelného čerpadla je narušen. Z výparníku se přestane odvádět teplo a místo toho se do výparníku teplo začne přivádět. A právě tak jako při odvodu tepla je stav ve výparníku výsledkem rovnovážného stavu (zajištěného autoregulací okruhu tepelného čerpadla), ustaví se ve výparníku rovnovážný stav i při přívodu tepla. Rozdíl mezi oběma „rovnováhami“ je v tom, že zatímco při režimu vytápění, tj. odvodu tepla se rovnovážný stav mění v čase relativně velmi pomalu – vlivem vytvářené námrazy, při režimu odtávání, tj. při přívodu tepla se mění relativně (velmi) rychle. Mohou ale nastat i případy, kdy i rovnovážný stav i v režimu odtávání se bude měnit (velmi) pomalu. Takový stav je nežádoucí, délka odtávání se prodlužuje, efekt odtávání se snižuje, energetický efekt tepelného čerpadla klesá.

Teplu přivedené do výparníku v režimu odtávání (Q_{od}) v době odtávání (τ_{od}) se spotřebuje na:

- ohřátí hmoty (M_w) výparníku ($Q_v = \text{konst} \times M_v \times (t_{pK} - t_o)$) – (včetně částečného ohřátí hmot souvisejících) – na konečnou teplotu odtávání (t_{pK})
- ohřátí hmoty (M_n) výparníku ($Q_n = \text{konst} \times M_n \times (0 - t_o)$) – na teplotu tání námrazy 0°C
- roztátí (změnu stavu) námrazy při teplotě tání námrazy 0°C (Q_{zs})
- krytí tepelných ztrát, které vznikají tím, že ohřátý (ohřívaný) výparník má (zpravidla) vyšší teplotu než okolí (Q_z)

Vztahy po spotřebu tepla Q_v a Q_n jsou určeny s určitou únosnou nepřesností, danou tím, že teplota odpovídajících hmot je nahrazena teplotou vypařovací to.

$$Q_{od} = Q_v + Q_n + Q_{zs} + Q_z$$

Pro jednoznačnost pojmů je třeba definovat:

- Koncová teplota odtávání (t_{pK}) je průměrná teplota hmoty výparníku, při které (s ohledem na určitou nerovnoměrnost ohřívání jednotlivých částí výparníku) dojde – po jeho ohřátí na tuto teplotu – ke spolehlivému a bezpečnému roztátí námrazy na celém povrchu výparníku, v řídicím systému se za tuto teplotu uvažuje teplota v místě, kde je umístěno teplotní čidlo.
- Reálná doba režimu odtávání (τ_{od}) je doba, za kterou bude při daných okrajových podmínkách dosažena koncová teplota odtávání (t_{pK}).

- Celková doba pracovního cyklu tepelného čerpadla (τ_C) je dána součtem provozních dob režimu vytápění (τ_V) a režimu odtávání (τ_{od})

$$\tau_C = \tau_V + \tau_{od}$$

5

Priváděné teplo v režimu odtávání, respektive odpovídající potřebný „odtávací“ tepelný výkon

- při určitých okrajových podmínkách – se může rozčlenit takto:
- z pohledu priváděného tepelného výkonu (Q_{od}') se dělí na čtyři odpovídající výkonové složky, které se mění v čase, tj. v průběhu odtávání ($Q_{v'}$, $Q_{n'}$, $Q_{zs'}$, $Q_{z'}$);
- z pohledu spotřeby tepla pro odtávání se dělí na
 - složky na délce odtávání závislou (Q_z)
 - z pohledu časového průběhu se výkonové složky dělí na
- z pohledu časového průběhu se výkonové složky dělí na
 - složky působící alternativně tj. buď/nebo ($Q_{n'}$ a $Q_{zs'}$)
 - složku působící trvale ($Q_{z'}$).

15

Pokud by se fyzikální model chtěl převést na model matematický, pak rovnovážný stav při odtávání vyjadřuje rovnice, která určuje (povrchovou) teplotu hmoty výparníku v závislosti na čase $t_p = f_{ce}(\tau)$. Tato funkce je samozřejmě ovlivněna okrajovými podmínkami předchozího pracovního režimu i odtávání, mezi které patří zejména:

20

- hmotnost výparníku (M_v)
- teplota vzduchu (t_{ex})
- hmotnost námrazy (M_n), která se musí odtát
- tu určují parametry TČ při předchozím provozním režimu, tj.
 - chladičový výkon (Q_o') a teplota vypařovací (t_o)
 - doba provozu TČ v provozním tj. vytápěcím režimu (τ_V)
 - teplota a relativní vlhkost vzduchu (t_{ex} , ϕ_{ex})
- časový průběh tepelného výkonu při odtávání, tj. „odtávacího“ výkonu $Q_{od}' = f_{ce}(\tau)$.

30

Dále je třeba si uvědomit, že proces odtávání probíhá ve třech postupných krocích:

35

1. krok – Ohřátí hmoty výparníku (včetně námrazy) na teplotu tání námrazy (0°C).
2. krok – Roztátí námrazy při stálé teplotě výparníku (teplotě tání námrazy 0°C).
3. krok – Ohřátí výparníku na „bezpečnostní“ vyšší teplotu (nad 0°C).
pro eliminaci nerovnoměrného rozvrstvení teplot.

40

Všechny tři kroky přitom provází (proměnná) tepelná ztráta.

Z tohoto modelu je zřejmé, že

45

- vedle účelně vynaloženého tepla na roztátí námrazy ($Q_n + Q_{zs}$) se musí vydat další teplo, tj. balastní teplo na ohřátí hmot výparníku (Q_v) a krytí tepelných ztrát (Q_z).
- při stejném množství námrazy (M_n) se bude energetický efekt tepelného čerpadla zhoršovat, tj. délka odtávání prodlužovat při poklesu venkovní teploty (t_{ex}), protože se zvětšuje spotřeba tepla pro ohřátí hmot ($Q_v + Q_n$) i tepelná ztráta v průběhu odtávání (Q_z)

- při odtávání se musí vždy přivést balastní teplo a to při jakémkoliv množství námrazy; jeho množství závisí na hmotnosti výparníku (M_v) a na teplotě vzduchu (t_{ex}); i při nulové hmotnosti námrazy bude toto teplo nenulové a tím větší, čím nižší bude teplota vzduchu;

- režim odtávání sníží energetický efekt tepelného čerpadla i v případě, že režim bude iniciován v případě, že na výparníku nebude žádná námraza;

- pokud se bude iniciovat režim odtávání při malém množství námrazy, bude energetický efekt tepelného čerpadla negativně ovlivňován spotřebou balastního tepla;

- pokud se bude iniciovat režim odtávání při velkém množství námrazy, bude energetický efekt tepelného čerpadla negativně ovlivňován zhoršováním energetických parametrů tepelného čerpadla při silně namrzlém výparníku.

Z těchto skutečností je zřejmé, že množství, tj. hmotnost námrazy na výparníku v čase iniciace odtávání výrazně ovlivňuje energetickou náročnost tepelného čerpadla „vzduch–voda“.

Pro iniciaci ostávání se jako určující a primární kritérium vesměs nesleduje přímo množství námrazy vznikající na výparníku, ale sledují se kritéria sekundární, které jsou nebo mohou být primárním kritériem ovlivněna nebo s určitou nepřesností nahrazena.

Nejjednodušším a často používaným kritériem je časový interval mezi režimy odtávání. Nesleduje se ale reálný čas mezi odtáváním, ale s ohledem na možný přerušovaný provoz i tepelného čerpadla (zejména při vyšších teplotách t_{ex}) se sleduje faktická provozní doba tepelného čerpadla mezi odtáváním. Možné je vylepšit tuto iniciaci tím, že základní nastavený časový interval se prodlužuje s poklesem teploty vzduchu. Tím se zohledňuje snižující se průměrné množství vytvářené námrazy s poklesem teploty. Prodlužování základního nastaveného intervalu se může provádět i podle jiných závislostí, respektive parametrů.

Dalším jednoduchým kritériem je sací tlak kompresoru. Kritérium vychází z toho, že s rostoucí námrazou a snižujícím se výkonem výparníku se autoregulací snižuje vypařovací teplota. Její pokles pod určitou nastavitelnou mez iniciuje start režimu odtávání. Mez, kdy se iniciuje odtávání, ale nemůže být konstantní, musí se měnit v závislosti na teplotě vzduchu tak, aby byl postižen rozdíl mezi sacím tlakem odpovídajícím provozu bez námrazy a s námrazou.

Dalším kritériem je tlaková ztráta výparníku na straně vzduchu. Tento způsob se často používá u průmyslových chladicích zařízení. Nárůst námrazy způsobuje větší tlakovou ztrátu na výparníku a pracovní bod soustavy ventilátor – rozvod vzduchu, daný průsečíkem charakteristiky ventilátoru a charakteristiky rozvodu vzduchu se po charakteristice ventilátoru posouvá zprava doleva. Tento způsob se může použít tehdy, když charakteristika ventilátoru je natolik strmá, že námrazou vyvolaný posun charakteristiky rozvodu vzduchu posune pracovní bod o měřitelný (vyhodnotitelný) tlakový rozdíl. U výparníků tepelného čerpadla je charakteristika ventilátoru vesměs relativně plochá, posun pracovního bodu na charakteristice vyvolá jen obtížně měřitelný tlakový rozdíl. Navíc u výparníků umístěných na volném prostranství je nebo může být tlaková ztráta ovlivněna i větrem, takže tento způsob není příliš výhodný.

Podstata vynálezu

Předmětem vynálezu je způsob iniciace odtávání výparníků tepelných čerpadel odebírajících nízkopotenciální teplo ze vzduchu, s kompresorem, nejméně dvěma výměníky tepla a expanzním ventilem. Podstata vynálezu spočívá v tom, že za provozu tepelného čerpadla se monitoruje časový průběh růstu námrazy na výparníku při vypařovacím tlaku, který je nižší než vypařovací tlak počátku vzniku námrazy, a to tak, že se sleduje teplota okolního vzduchu a relativní vlhkost

okolního vzduchu, vypařovací teplota média v okruhu tepelného čerpadla a povrchová teplota na výparníku, které určují odvlhčení a změny entalpie při sledované změně vzniku a růstu námrazy, jejichž poměr se průběžně vyhodnocuje jako součinitel tvorby námrazy. Současně se sleduje chladicí výkon okruhu tepelného čerpadla, daný chladicím výkonem kompresoru, který je hnacím prvkem tepelného čerpadla, a který závisí na vypařovací teplotě média v okruhu tepelného čerpadla a kondenzační teplotě v okruhu tepelného čerpadla. Součin součinitele tvorby námrazy a chladicího výkonu okruhu tepelného čerpadla se průběžně v předem určených časových intervalech sumarizuje, a jakmile suma jeho hodnot, která odpovídá množství námrazy na výparníku, přesáhne předem danou mezní hodnotu, iniciuje se odtávání výparníku. Odtávání výparníku se reguluje v závislosti na měrné hmotnosti námrazy a struktuře námrazy vznikající na výparníku tepelného čerpadla.

U tepelných čerpadel osazených kompresorem s regulací výkonu, zejména změnou otáček kompresoru nebo odlehčováním jeho činné části, se určení chladicího výkonu okruhu tepelného čerpadla provádí v závislosti na vlivu regulace výkonu, například poměrného snížení otáček kompresoru.

Vztah pro výpočet chladicího výkonu okruhu tepelného čerpadla je definován funkcí s určitým počtem konstant, kde tyto potřebné konstanty se určují pro jakýkoliv kompresor, který je hnacím prvkem tepelného čerpadla, pro nějž je definována charakteristika kompresoru.

Objasnění výkresů

Problematika chlazení a odvlhčování vzduchu je jednoznačně popsána v tzv. Mollierově diagramu $h-x$, který je zpracován v kosoúhlé síti v souřadnicových osách měrná entalpie h s rozměrem [kJ/kg] a měrná absolutní vlhkost vzduchu x s rozměrem [g/kg]. Měrné hodnoty jsou vztaženy na 1 kg suchého vzduchu. Do diagramu jsou dále zakresleny sítě dvou dalších parametrů a to teploty t s rozměrem [°C] a relativní vlhkosti vzduchu φ s rozměrem [%]. Na obr. 1 je grafické znázornění součinitele tvorby námrazy K_n v Mollierově diagramu $h-x$, vliv vstupní teploty t_{ex} a relativní vlhkosti φ_{ex} vzduchu na hodnotu součinitele K_n . Na obr. 2 je grafické znázornění fiktivních dvou kroků při ochlazování a odvlhčování vzduchu. První krok při $x = \text{konst.}$ s odvedením citelného tepla, druhý krok při $t = \text{konst.}$ s odvedením skrytého tepla.

Příklady uskutečnění vynálezu

Změna stavu vzduchu při chlazení a odvlhčování vzduchu je v Mollierově diagramu $h-x$ znázorněna přímkou, vycházející z bodu, který charakterizuje vstupní stav ochlazovaného vzduchu teplotou t_{ex} a relativní vlhkostí φ_{ex} a končící bodem, který charakterizuje stav vzduchu na povrchu výparníku. Ten je principiálně dán teplotou povrchu t_p a relativní vlhkostí 100 % ($\varphi = 100\%$). Výstupní stav vzduchu je pak dán bodem ležícím na této přímce a je charakterizován teplotou ochlazeného vzduchu. Chlazení a odvlhčování vzduchu na jedné straně teplosměnné plochy výparníku se uskutečňuje změnou skupenství, respektive vypařováním chladiva na druhé straně teplosměnné plochy výparníku. Protože vypařování probíhá při stálé teplotě t_o – u chladiv bez tzv. teplotního skluzu, nebo při málo proměnné teplotě – u chladiv s teplotním skluzem, dá se s dostatečnou přesností pokládat povrchová teplota za stálou. S ohledem na relaci velikostí součinitelů přestupu tepla na obou stranách teplosměnné plochy výparníku, je povrchová teplota t_p vyšší než teplota vypařovací t_o . Pro její určení se může s dostatečnou přesností použít bezrozměrný součinitel povrchové teploty K_p , který je dán poměrem dvou rozdílů teplot, tj. zlomkem s rozdílem teploty vzduchu t_{ex} a povrchové teploty t_p v čitateli a rozdílem teploty vzduchu t_{ex} a teploty vypařovací t_o ve jmenovateli. Pomocí součinitele povrchové teploty K_p se pak může z teploty vzduchu t_{ex} a teploty vypařovací t_o určit teplota povrchová t_p .

$$K_p = (t_{ex} - t_p) / (t_{ex} - t_o) \quad [-]$$

$$t_p = t_{ex} - K_p \times (t_{ex} - t_o) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Při daném vstupním stavu vzduchu není pro popis procesu vytváření námrazy na výparníku důležitý výstupní stav vzduchu, důležitý je směr, respektive směrnice přímky charakterizující ochlazování a odvlhčování vzduchu v Mollierově diagramu $h-x$. Tato směrnice určuje součinitele tvorby námrazy K_n , který je vyjádřen poměrem odvlhčení Δx a změny entalpie Δh při sledované změně stavu. Součinitel tvorby námrazy je funkcí teploty vzduchu t_{ex} , jeho relativní vlhkosti ϕ_{ex} a povrchové teploty výparníku t_p , kterou lze nahradit vypařovací teplotou t_o a součinitelem povrchové teploty K_p . Součinitele tvorby námrazy K_n tedy určuje kombinace parametrů vnějšího i vnitřního děje. Po úpravě jednotek má rozměr [kg/kWh]. Součinitel je vyjádřen vztahem:

$$K_n = \Delta x / \Delta h = fce(t_{ex}, \phi_{ex}, t_o, K_p) \text{ [kg/kWh]}$$

Z Mollierova diagramu $h-x$ je zřejmé, že součinitel je výrazně ovlivněn teplotou t_{ex} a relativní vlhkostí ϕ_{ex} vzduchu. To je patrné z obr. 1, kde pro tři změny stavu, určené počátečním stavem vzduchu t_{ex} , ϕ_{ex} , kterým okruh tepelného čerpadla svou autoregulací přizpůsobuje teplotu vypařovací t_o , jsou vyčísleny hodnoty součinitele tvorby námrazy K_n . Pro určení změn stavu Δx , Δh byly využity stavy vstupního a výstupního vzduchu na výparníku. Pro definici výstupního stavu vzduchu by mohl být ale použit kterýkoliv bod na přímce charakterizující změnu stavu vzduchu. Autoregulace zohledňuje i skutečnost, že řídicí systém tepelného čerpadla pracuje vesměs s ekvitermní regulací teploty ohřívání vody pro vytápěcí systém, která přizpůsobuje teplotu ohřívání vody vnější teplotě, tj. teplotě vzduchu.

Pro sledování růstu námrazy je třeba mít k dispozici další vztah a to vztah pro výpočet výkonu výparníku, respektive chladicího výkonu tepelného čerpadla, daný chladicím výkonem kompresoru Q_o' , který je hnacím prvkem tepelného čerpadla. Chladicí výkon Q_o' je funkcí teploty vypařovací t_o , kondenzační t_k , přehřátí páry v sání kompresoru Δt_s a podchlazení kapaliny za kondenzátorem Δt_d . Protože přehřátí Δt_s a podchlazení Δt_d se za provozu tepelného čerpadla příliš nemění, může se vztah zjednodušit a vyjádřit jen funkcí teploty vypařovací t_o a kondenzační t_k . Chladicí výkon kompresoru tedy určují jen parametry vnitřního děje.

$$Q_o' = fce(t_o, t_k) \text{ [kW]}$$

Pokud pracuje tepelné čerpadlo s regulací výkonu, to znamená je vybaveno kompresorem s regulací výkonu, např. změnou otáček, nebo odlehčováním činné části, je pak chladicí výkon dán ještě třetím parametrem r , charakterizujícím vliv regulace výkonu např. poměrným snížením otáček.

$$Q_o' = fce(t_o, t_k, r) \text{ [kW]}$$

Pokud za provozu tepelného čerpadla teplota vzduchu t_{ex} poklesne pod hodnotu t_{exN} , která je provázána poklesem vypařovacího tlaku pod hodnotu p_{oN} , kdy se na povrchu výparníku začíná tvořit námraza, řídicí systém spojitě vyhodnocuje součinitele tvorby námrazy K_n a výkon výparníku Q_o' a následně průběžné množství vznikající námrazy M_n' je součinem obou těchto hodnot, který po úpravě jednotek má rozměr [kg/hod]

$$M_n' = K_n \times Q_o' = fce((t_{ex}, \phi_{ex}, t_o, t_k, (r))) \text{ [kg/hod]}.$$

Podle četnosti měření, respektive časového intervalu mezi měřeními $\Delta \tau$ a parametrů $(t_{ex}, \phi_{ex}, t_o, t_k)$ potřebných pro výpočet – které jsou proměnné v čase, se pak sumarizuje celkové množství námrazy na výparníku M_n .

$$M_n = \Sigma(M_n' \times \Delta \tau) = fce(t_{ex}, \phi_{ex}, t_o, t_k, (r), \tau) \text{ [kg]}$$

Dosáhne-li tato hodnota předem zadanou mezní hodnotu MnO , iniciuje se režim odtávání. Režim odtávání se ukončí iniciací režimu vytápění, když povrchová teplota výparníku tp dosáhne požadovanou hodnotu tpK charakterizující konec odtávání.

- 5 Pro popsání výpočet a iniciaci režimu odtávání musí mít řídicí systém k dispozici čtyři výchozí parametry (tex , $φex$, to , tk). Pro indikaci konce odtávání a opětovnou iniciaci režimu vytápění pak musí mít řídicí systém k dispozici pátý parametr tp . U tepelného čerpadla s regulací výkonu pracuje řídicí systém ještě se šestým parametrem r . Tři z těchto parametrů a to teplota vzduchu tex , jeho relativní vlhkost $φex$ a teplota povrchová výparníku tp se měří přímo. Další dva parametry a to teplota vypařovací to a kondenzační tk se měří nepřímo a to tak, že se měří tlak vypařovací po a kondenzační pk a teploty změny stavu ($tzs = to$, tk) se pak vypočítají ze závislosti teploty změny stavu tzs na tlaku pzs , které je pro každé chladivo R známá.

$$tzs = fce(pzs, R)$$

- 15 Případný šestý parametr r je přímo vytvářen jinou částí řídicího systému.

- 20 Vedle pěti, případně šesti uvedených výchozích a proměnných parametrů (tex , $φex$, po , pk , tp , r) řídicí systém pracuje se třemi, případně čtyřmi vkládanými konstantními parametry, to je součinitelem povrchové teploty Kp , přípustným mezním množstvím námrazy na výparníku MnO , po jejímž dosažení je třeba výparník odtát a povrchovou teplotou tpK , charakterizující konec odtávání. Pokud není vypařovací tlak počátku vzniku námrazy poN vyjádřen funkcí ($poN = fce(w)$), vkládá se jako čtvrtý konstantní parametr hodnota poN .

- 25 V předchozím uvedené výpočtové vztahy jsou popsány pouze principiálně. Protože výpočet součinitele tvorby námrazy Kn pracuje s hodnotami absolutní vlhkosti x a entalpie h , musí mít řídicí systém k dispozici další funkce, tj. do řídicího systému musí být implementovány:

- 30 – funkce $x = fce(tex, φex)$ pro výpočet absolutní vlhkosti vzduchu x z teploty tex a relativní vlhkosti $φex$ vzduchu;
- funkce $pvp = fce(tex)$ pro výpočet tlaku syté vodní páry pvp při teplotě vzduchu tex , která je nezbytná pro výpočet funkce předchozí
- 35 – funkce, $t, x, h = fce(t, x, h)$, která určuje relaci mezi třemi parametry a to absolutní vlhkostí x , teplotou t a entalpií h vzduchu a která mezi třemi parametry a to absolutní vlhkostí x , teplotou t a entalpií h vzduchu a která ze dvou zadaných hodnot určí hodnotu třetí, kde hodnota, která se má určit se jako argument zadává smluvní (nereálnou) hodnotou (-1000);
- 40 – funkce $tm = fce(x)$ pro výpočet teploty „mokrého teploměru“ tm z absolutní vlhkosti x , která je nutná pro určení stavu vzduchu na povrchu výparníku při relativní vlhkosti 100 %.

- 45 Mollierův diagram $h-x$ je zpracován tak, že při odvlhčování, tj. při změně skupenství vodní páry počítá se skupenským teplem kondenzace vodní páry $QzsK = 2500$ kJ/kg. Pokud se na výparníku z kondenzátu tvoří námraza, není skupenské teplo mrznutí $QzsM = 332$ kJ/kg v diagramu zohledněno. Při popsání výpočtu množství námrazy na výparníku tedy dochází k určité chybě. Skutečné množství bude menší než vypočtené. To vyplývá ze skutečností znázorněných na obr. 2.

- 50 Změny stavu vzduchu při chlazení a odvlhčování vzduchu se mohou popsat dvěma fiktivními kroky. V prvním kroku se při stálé absolutní vlhkosti ($x = konst$) zajistí ochlazení vzduchu $Δt$ na výstupní teplotu odvedením citelného tepla s odpovídající změnou entalpie $Δc$. Ve druhém kroku se při stálé výstupní teplotě ($t = konst$) zajistí odvlhčení vzduchu $Δx$ na výstupní absolutní vlhkost odvedením skrytého (latentního) tepla potřebného ke kondenzaci vodní páry s odpovídající

změnou entalpie Δh_s . Celková změna entalpie Δh , kterou je změna stavu vzduchu charakterizována je pak dána součtem obou složek ($\Delta h = \Delta h_c + \Delta h_s$).

- 5 Změna entalpie při odvodu skrytého tepla Δh_s je dána v podstatě součinem množství zkondenzované vlhkosti Δx skupenského tepla změny stavu Q_{zs} . Pro množství zkondenzované vlhkosti pak platí vztah:

$$\Delta x = \Delta h_s / Q_{zs}$$

- 10 Protože hodnota Δh_s je při dané změně stavu určena jednoznačně, je zřejmé, že hodnota Δx bude ovlivněna hodnotou Q_{zs} . Pokud se bude respektovat nejen skupenské teplo kondenzace Q_{zsK} , ale i skupenské teplo mrznutí Q_{zsM} , bude množství vytvořené námrazy menší než vypočtené v poměru cca $2500 / (2500 + 332) = 0,88$.

- 15 Tuto reakci by bylo možné do výpočtu zahrnout. Protože se ale iniciační množství M_{nO} nastavuje podle experimentálně ověřených hodnot počítaného průběhu M_n , není třeba tuto korekci provádět.

- 20 S vypočteným množstvím námrazy se může dále pracovat. Při známé ploše výparníku a známé měrné hmotnosti námrazy se může vypočítat průměrná tloušťka námrazy na výparníku a z té snížení čelní plochy výparníku, vedoucí ke zvýšení rychlosti vzduch proudícího přes výparník a následně ke zvýšení tlakové ztráty na výparníku a ke snížení průtočného množství vzduchu. Měrnou hmotnost námrazy ovlivňuje struktura námrazy. To je ovlivněno především rychlostí růstu námrazy, charakterizováním součinitelem růstu námrazy K_n . Struktura námrazy ovlivňuje
- 25 přípustné mezní množství námrazy na výparníku. Její vliv může být postižen součinitelem struktury námrazy K_s , který je bezrozměrný [-] a který je funkcí součinitele tvorby námrazy K_n , která se musí určit experimentálně.

$$K_s = f_{ce}(K_n) \quad [-]$$

- 30 Struktura námrazy se může v dříve uvedených vztazích zohlednit a pro množství vznikající námrazy pak platí vztah:

$$M_n' = K_n \times Q_{o'} \times K_s = f_{ce}((t_{ex}, \phi_{ex}, t_o, t_k, (r), K_n) \quad [\text{kg/hod}]$$

- 35 Ve výpočtu tvorby námrazy má důležitý význam vztah pro výpočet chladicího výkonu tepelného čerpadla, respektive použitého kompresoru. Pro snadnou implementaci tohoto vztahu do řídicího systému tepelného čerpadla a možnost použití tohoto vztahu pro jakýkoliv kompresor byla definována funkce s určitým počtem konstant a byl vytvořen prostředek pro určení těchto konstant
- 40 pro jakýkoliv kompresor, jehož charakteristika chladicího výkonu je definována ať už určitým vztahem, nebo tabulkou.

- 45 Popsaná iniciace odtávání vchází v činnost jen tehdy, dosáhne-li množství námrazy M_n mezní hodnotu M_{nO} za provozu tepelného čerpadla. Při přerušovaném provozu tepelného čerpadla, to je za situace, kdy tepelné čerpadlo má topný výkon větší než aktuální potřebný, nastávají po přerušení provozu dvě situace:

- při teplotách vzduchu vyšších než cca 2 °C se vesměs odtává výparník tzv. doběhem ventilátoru, tj. cirkulací dostatečně teplého vzduchu. Poté co povrchová teplota výparníku dosáhne
- 50 hodnotu konce odtávání tp_K , sumarizované množství námrazy se anuluje.
- při teplotách vzduchu nižších než cca 2 °C, kdy odtávání tzv. doběhem ventilátoru není možné, se pouze přeruší sumarizace množství námrazy a po opětovném spuštění provozu tepelného čerpadla se v sumarizaci pokračuje.

Průmyslové využití vynálezu

5 Vynález je využitelný při iniciaci odtávání výparníků tepelných čerpadel odebírajících nízkopotenciální teplo ze vzduchu, s kompresorem, nejméně dvěma výměníky tepla a expanzním ventilem.

10

PATENTOVÉ NÁROKY

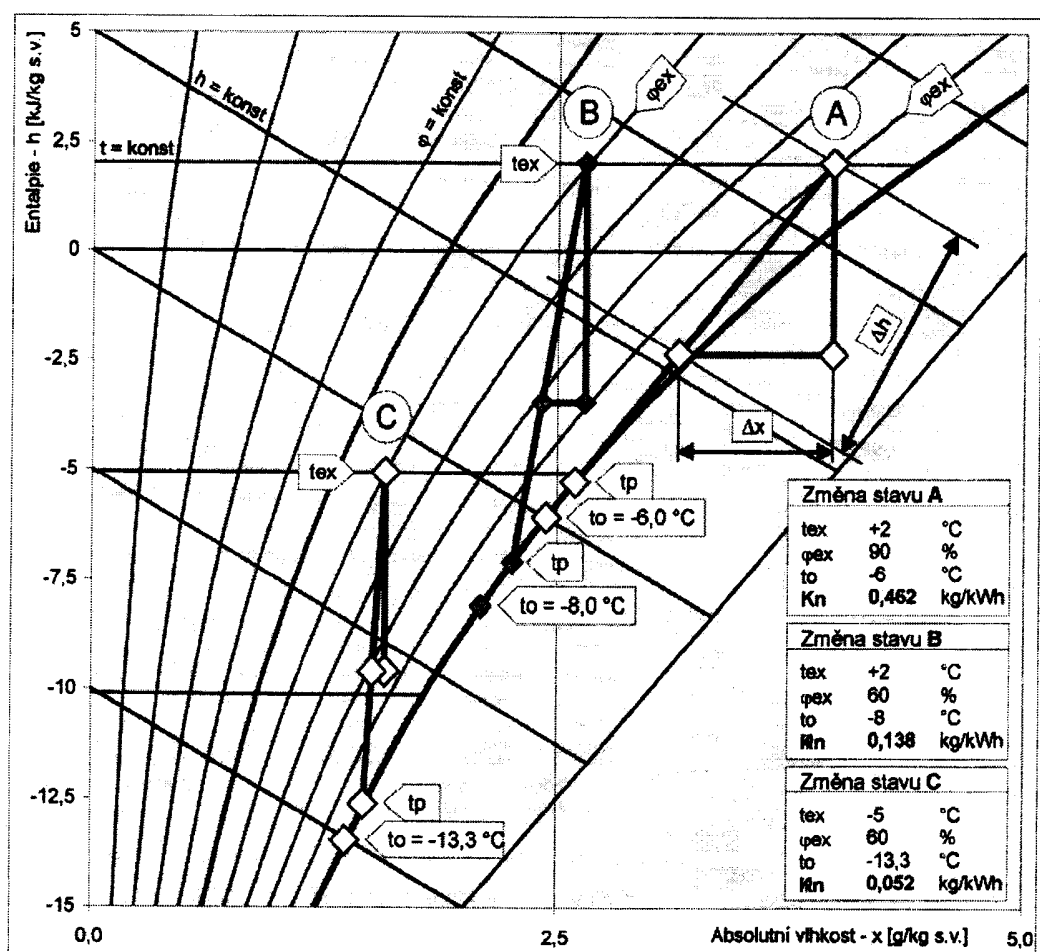
15 **1.** Způsob iniciace odtávání výparníků tepelných čerpadel odebírajících nízkopotenciální teplo ze vzduchu, s kompresorem, nejméně dvěma výměníky tepla a expanzním ventilem, **v y z n a -**
č u j í c í s e t í m, že za provozu tepelného čerpadla se monitoruje časový průběh růstu námrazy na výparníku při vypařovacím tlaku, který je nižší než vypařovací tlak počátku vzniku námrazy (p_{oN}), a to tak, že se sleduje teplota (t_{ex}) okolního vzduchu a relativní vlhkost (ϕ_{ex}) okolního vzduchu, vypařovací teplota (t_o) média v okruhu tepelného čerpadla a povrchová teplota na
20 výparníku, které určují odvlhčení (Δx) a změny entalpie (Δh) při sledované změně vzniku a růstu námrazy, jejichž poměr se průběžně vyhodnocuje jako součinitel (K_n) tvorby námrazy, a současně se sleduje chladicí výkon (Q_o') okruhu tepelného čerpadla, daný chladicím výkonem kompresoru, který je hnacím prvkem tepelného čerpadla, a který závisí na vypařovací teplotě (t_o) média v okruhu tepelného čerpadla a kondenzační teplotě (t_k) v okruhu tepelného čerpadla, přičemž
25 součin součinitele (K_n) tvorby námrazy a chladicího výkonu (Q_o') okruhu tepelného čerpadla se průběžně v předem určených časových intervalech sumarizuje a jakmile suma jeho hodnot, která odpovídá množství námrazy na výparníku, přesáhne předem danou mezní hodnotu, iniciuje se odtávání výparníku.

30 **2.** Způsob podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že odtávání výparníku se reguluje v závislosti na měrné hmotnosti námrazy a struktuře námrazy vznikající na výparníku tepelného čerpadla.

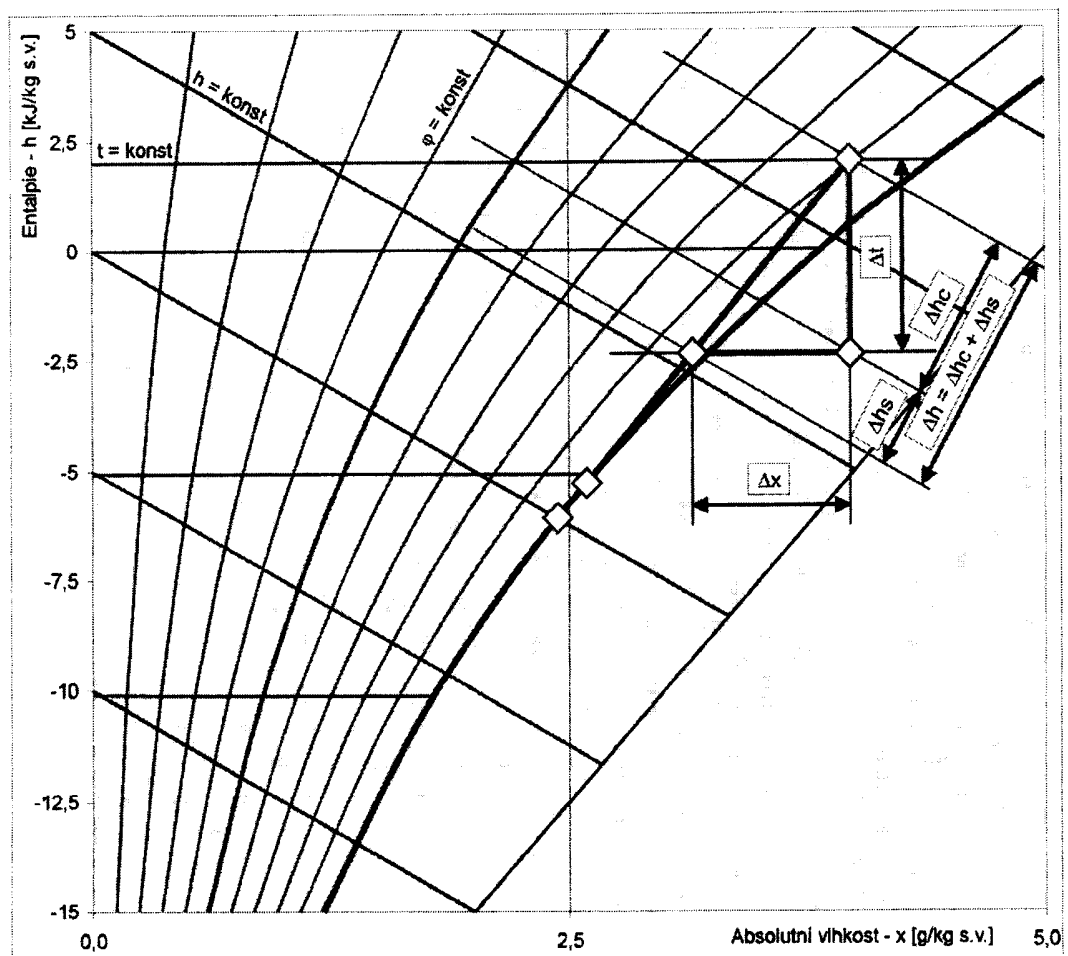
35 **3.** Způsob podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že u tepelných čerpadel osazených kompresorem s regulací výkonu, zejména změnou otáček kompresoru nebo odlehčováním jeho činné části, se určení chladicího výkonu (Q_o') okruhu tepelného čerpadla provádí v závislosti na vlivu regulace výkonu, například poměrného snížení otáček kompresoru.

40

2 výkresy



Obr.1



Obr.2

 Konec dokumentu
