

Ing. Luděk KLAZAR

Měření tepelných čerpadel a závislost $TF-\Delta t$

Measurements of Heat Pumps and Relation $TF-\Delta t$

Recenzent
prof. Ing. Jiří Petrák, CSc.

Autor pojednává o jednoparametrické závislosti topného faktoru na rozdílu mezi teplotou ohřívání látky na výstupu z tepelného čerpadla a vstupní teplotou látky, která je zdrojem nízkopotenciálního tepla. Možnost a účelnost zavedení této závislosti, označené jako $TF-\Delta t$, je dokumentována na souboru měření tepelných čerpadel vzduch – voda renomovanou zkušebnou WPZ ve švýcarském městě Buchs. Významné je i upozornění na [4] a tam deklarovanou „transformační účinnost tepelného čerpadla“. Partie věnované vyhodnocení měření jsou obecného charakteru a přesahují rámec tepelných čerpadel.

Klíčová slova: tepelné čerpadlo, topný faktor, měření

Author deals with one-parametric relation of the heat pump performance coefficient on the difference between the temperature of the heated substance at the heat pump outlet and the temperature of the incoming substance that exists as a source of low-potential heat. The possibility and suitability of introducing this relation, determined as $TF-\Delta t$, has been documented in the file of measurements of heat pumps air – water performed by reputable testing laboratory WPZ in the Swiss town of Buchs. An advice for [4] and the declared “heat pump transformation efficiency” therein makes a significant issue. Parts dedicated to the measurement evaluations present a general character and exceed the framework of heat pumps.

Keywords: heat pump, heat pump performance coefficient, measurement

REKAPITULACE

Energetické parametry reálných kompresorů (RK) jsou dány charakteristikami kompresorů. Pro určení limitních topných faktorů kompresorů a s nimi řešených tepelných čerpadel (TČ), byla z charakteristik odvozena „jednoparametrická“ závislost $TF = f_{ce}(\Delta t)$ mezi topným faktorem TF a charakteristickým rozdílem teplot Δt – symbolicky značena **závislost $TF-\Delta t$** (obr. 1). Tato závislost vnáší do problematiky TČ větší přehlednost a objektivitu [4].

Závislost $TF-\Delta t$ pro RK, která je vyjádřena vztahem
 $TF_{lko} = f_{ce}(\Delta t_l) = f_{ce}(t_k - t_o)$

s dostatečnou přesností jednoznačně **určuje jediným argumentem Δt_l limitní TF (TF_{lko}), který může být dosažen daným kompresorem při určitém Δt_l .**

Teplotní rozdíl vnitřního děje
 $\Delta t_l = t_k - t_o$

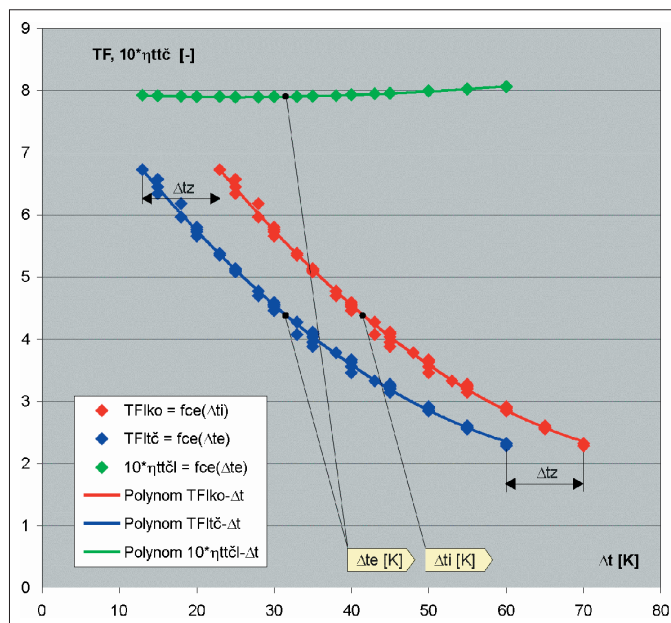
kde
 t_k a t_o jsou teplota kondenzační a vypařovací charakterizující parametry kompresoru se po zohlednění dalších skutečností redukuje v tepelném čerpadle na teplotní rozdíl vnějšího děje,
 $\Delta t_e = t_{s2} - t_{p1}$

kde
 t_{s2} a t_{p1} jsou teplota výstupní sekundárního a teplota vstupní primárního média) charakterizující parametry TČ.

Přitom platí:
 $\Delta t_e = \Delta t_l - \Delta t_z$
 $\Delta t_z = (t_k - t_{s2}) + (t_{p1} - t_o) = \Delta t_{zK} + \Delta t_{zV} = (t_k - t_o) - (t_{s2} - t_{p1})$

kde
 Δt_z , Δt_{zK} , Δt_{zV} je tzv. ztrátový teplotní rozdíl celkový, „na kondenzátoru“ a „na výparníku“.

Závislost $TF-\Delta t$ pro TČ, která je pak vyjádřena vztahem (psáno symbolicky
 $TF_{ltč}, TF_{rtč} = f_{ce}(\Delta t_e) = f_{ce}(t_{s2} - t_{p1})$



Obr. 1 Grafické vyjádření závislosti $TF-\Delta t$, v daném případě $TF_{lko} = f_{ce}(\Delta t_l)$, $TF_{ltč} = f_{ce}(\Delta t_e)$

Zobrazena je i „transformační“ účinnost TČ $\eta_{ttč} = TF_{ltč} / TF_{lko}$ [4]

opět s dostatečnou přesností **určuje jediným argumentem Δt_e limitní nebo reálný TF ($TF_{ltč}$, $TF_{rtč}$), který může být dosažen TČ s daným kompresorem** (kde $TF_{ltč}$ zohledňuje jen příkon kompresoru, zatímco $TF_{rtč}$ zohledňuje i příkony na dopravu médií a energetickou náročnost odtávání u TČ „vzduch-voda“).

K závislostem $TF-\Delta t$ je třeba dodat, že platí – stejně jako charakteristiky z nichž byly odvozeny – pro hodnoty přehřátí v sání (Δt_s) a podchlazení kapalného chladiva (Δt_d), pro které byly deklarovány.

Přesto, že platnost závislosti $TF-\Delta t$ se potvrdila u všech kompresorů pro které byla sestavena (bez ohledu na výrobce, typ, velikost a chladivo) a potvrdila se i pro Rankinův oběh a Carnotův cyklus, hledaly se další způsoby, kterými by se dále ověřila. Inspirací pro ověření dalším způsobem byl článek [6], pojednávající o zkoušení a hodnocení TČ. Ten vedl k myšlence, ověřit tuto metodiku měřením renomovanou zkušebnou.

OVĚŘENÍ PLATNOSTI ZÁVISLOSTI $TF-\Delta t$ VYUŽITÍM MĚŘENÍ TČ „VZDUCH-VODA“ [podle 1]

Pro ověření závislosti $TF-\Delta t$ pro reálná TČ (RTČ) a tedy závislosti $TF_{rtč} = fce(\Delta te)$ byly využity publikované výsledky měření TČ ze zkušebny Wärmepumpen-Testzentrum WPZ v Buchsu ve Švýcarsku [1], [6]. Pro ověření byla vybrána TČ „vzduch-voda“, vzhledem k tomu, že tato TČ z principu pracují v nejširším rozsahu Δt . Pro tuto TČ je k dispozici několik desítek publikovaných měření, z tohoto jedna část podle EN 255 a druhá část podle EN 14511.

První určení a grafické znázornění závislosti $TF-\Delta t$ RTČ potvrdila „očekávaný“ průběh, ale s „neočekávaně“ velkou nepřesností této závislosti. Aby se věc uvedla na pravou míru, bylo třeba uvědomit si, že měření tepelných čerpadel podle té či oné normy se uskutečňuje při dvou stavech:

- **Stavy A** – měření za „standardních“ okrajových podmínek, při kterých nedochází k vytváření námrazy na výparníku a výparník není proto třeba odtávat;
- **Stavy B** – měření za „standardních“ okrajových podmínek, při kterých dochází k vytváření námrazy na výparníku a výparník je třeba odtávat, nebo „nestandardních“ okrajových podmínek, při kterých může být relace vnitřních a vnějších podmínek ovlivněna (znevýhodněna) dalším faktorem, např. tzv. MOP expanzního ventilu.

Po rozlišení závislosti $TF-\Delta t$ RTČ, respektive $TF_{rtč} = fce(\Delta te)$ pro tyto dva stavy, grafické znázornění výsledků potvrdilo i „očekávanou“ a dostatečnou přesnost této závislosti.

V tab. na obr. 2 a 3 jsou vyneseny okrajové podmínky měření podle obou norem a jejich rozlišení na měření při stavech A a B. **Měření podle těchto norem**, definované **okrajové podmínky a energetické parametry** určené měřením, můžeme označit za „**atestační**“.

Pro grafické zobrazení výsledků měření byl zpracován vyhodnocovací SW, který rozlišuje výsledky

- podle normy „měření“;
- podle kategorie, do které jsou TČ zkušebnou zaříděna (podle dosažených hodnot TF);
- podle stavů A a B;

a umožňuje vyjádřit sledované závislosti $TF-\Delta t$ RTČ

- pro jednotlivá měření;
- pro průměrnou hodnotu všech měření;
- pro průměrnou hodnotu měření podle použitých chladiv.

W výstup	W35						W45				W55		
Měření	A20/W35	A10/W35	A7/W35	A2/W35	A-7/W35	A-15/W35	A7/W45	A2/W45	A-7/W45	A-15/W45	A20/W55	A7/W55	A-7/W55
Δt	15	25	28	33	42	50	38	43	52	60	35	48	62

Stavy A	A10/W35	A7/W35	A7/W45	A7/W55
Δt	25	28	38	48

Stavy B	A20/W35	A2/W35	A20/W55	A2/W45	A-7/W35	A-15/W35	A-7/W45	A-15/W45	A-7/W55
Δt	15	33	35	43	42	50	52	60	62

Obr. 2 (tabulky) „Atestační“ okrajové podmínky podle normy EN 14511

Stavy A nejsou zvýrazněny, stavy B jsou zvýrazněny modře (odtávání) a červeně (vliv MOP)

Značení: např. A20/W35 ... A – vstupní teplota vzduchu (t_{p1}), W – výstupní teplota otopné vody (t_{s2})

W výstup	W35						W50			
Měření	A20/W35	A10/W35	A7/W35	A2/W35	A-7/W35	A20/W50	A15/W50	A7/W50	A2/W50	A-7/W50
Δt	15	25	28	33	42	30	35	43	48	57

Stavy A	A10/W35	A7/W35	A15/W50	A7/W50
Δt	25	28	35	43

Stavy B	A20/W35	A20/W50	A2/W35	A-7/W35	A2/W50	A-7/W50
Δt	15	30	33	42	48	57

Obr. 3 (tabulky)

„Atestační“ okrajové podmínky podle normy EN 255

Stavy A a B jsou rozlišeny jako v obr. 2

SW vyčísluje i další ukazatele (parametry) a umožňuje s výsledky dále manipulovat.

Na obr. 4 jsou zobrazeny čtyři grafy v členění podle normy „měření“ a dvou hodnotících kategorií (kategorie 2 a 3 – viz [6]). Znázorněné pracovní body odpovídají průměrným hodnotám měření s TČ pracujícími s chladivem R 407C, kterých bylo nejvíce.

Závislost $TF-\Delta t$ RK je podle [4] vyjádřena křivkou, tvořenou „plynulým“ obloukem a je definována regresní křivkou proloženou pracovními body určenými z charakteristiky. V analýze bude závislost $TF-\Delta t$ RTČ definována regresní křivkou proloženou body, zjištěnými „atestačními“ měřeními.

Pro určení závislosti $TF-\Delta t$ RTČ je třeba si uvědomit, že pracovní body získané „atestačním“ měřením mají podstatně odlišný charakter oproti bodům, které jsou k dispozici pro reálný kompresor. Zatímco u reálného kompresoru charakteristika dává k dispozici cca 60 až 100 pracovních bodů (daných počtem hodnot, kterými je charakteristika v pracovním rozsahu teplot vypařovacích t_o a kondenzačních t_k tabelárně definována), v podstatě „spojitě“ rozmístěných, „atestační“ měření dává k dispozici jen několik bodů (v daném případě 4 pro stav A, 6 až 9 pro stav B), navíc rozmístěných „nespojitě“. Vzhledem k tomu, že jako regresní křivka, která definuje „plynulý oblouk“ závislosti $TF-\Delta t$ proložený pracovními body je volen polynom, je třeba stejně jako pro závislost $TF-\Delta t$ RK [4] i pro závislost $TF-\Delta t$ RTČ určit vhodný stupeň polynomu, který zajistí požadované vlastnosti.

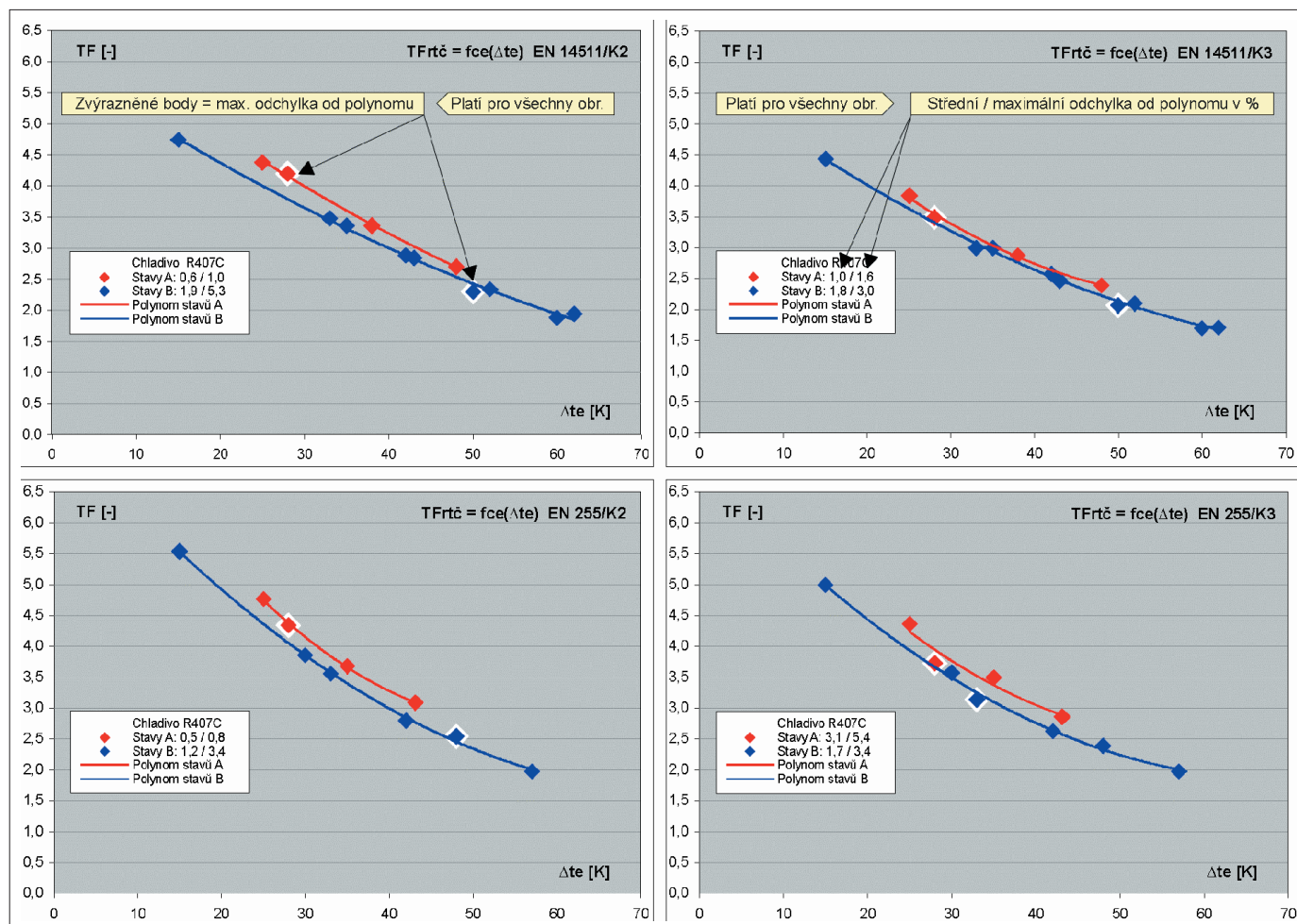
Poznámka: V souvislosti se závislostí $TF-\Delta t$ se pod pojmem „plynulý oblouk“ rozumí křivka, u níž se ve sledovaném rozsahu směrnice tečny spojitě mění jen v jednom směru! – křivka nemá inflexní bod! Tento pojem byl zaveden proto, že se nepodařilo najít „matematický“ termín [7], který by definoval křivku s těmito vlastnostmi.

Nejvhodnější stupeň polynomu se hledal následujícím způsobem:

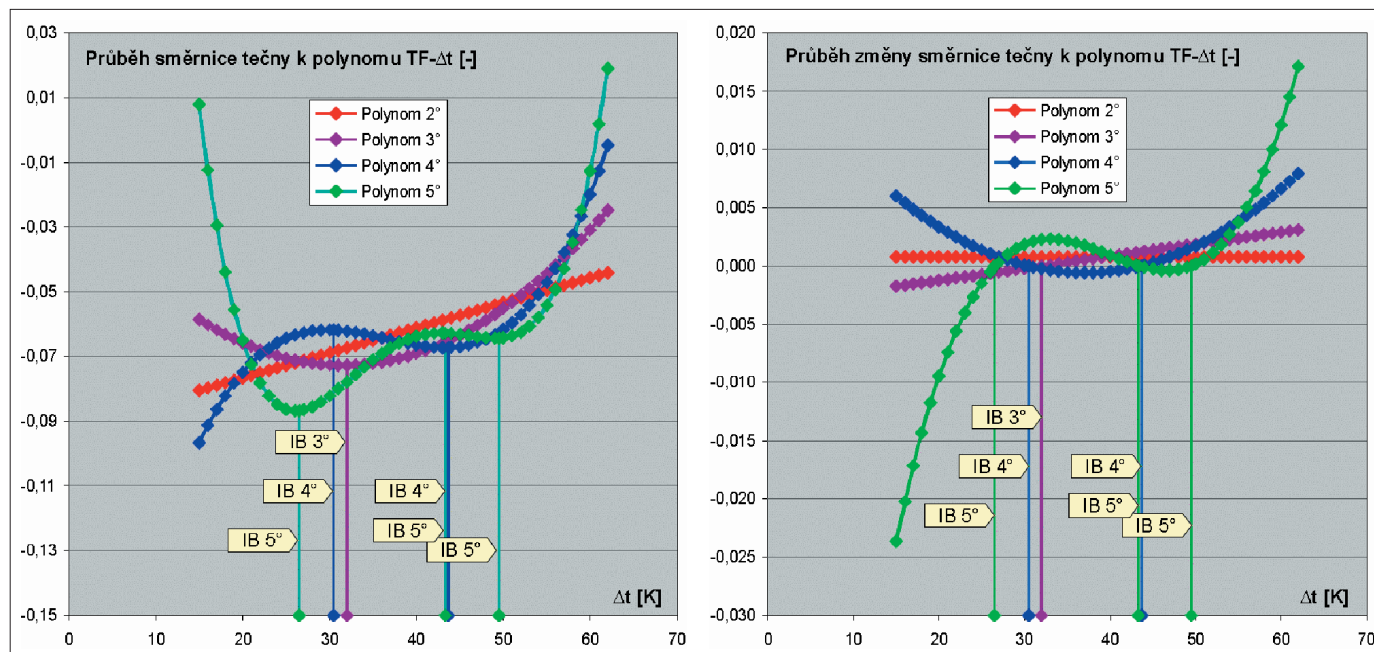
Pro polynomy 2 až 5° byly v daném rozsahu Δt vyhodnoceny „průběhy směrnice tečny“ (diagram na obr. 5 vlevo) a „průběhy změny směrnice tečny“ (diagram na obr. 5 vpravo).

Podmínka „plynulého oblouku“, tj. absence inflexního bodu bude splněna tehdy, když změna směrnice tečny se nebude rovnat 0. Této podmínce vyhovuje pouze polynom 2°. Polynomy vyšších stupňů mají inflexní bod (body) a jsou tedy pro vyjádření závislosti $TF-\Delta t$ nepoužitelné.

Pro objasnění skutečnosti, že závislost $TF-\Delta t$ má být vyjádřena „plynulým obloukem“, ale i vlastní definice „plynulého oblouku“, jsou na obr. 6 zná-



Obr. 4 Zobrazení závislosti $TF - \Delta t$ v podobě $TF_{RTČ} = fce(\Delta te)$ zpracovaných podle [1] Závislosti členěny podle dvou norem (EN 14 511 a EN 255) a dvou kategorií (K2, K3).

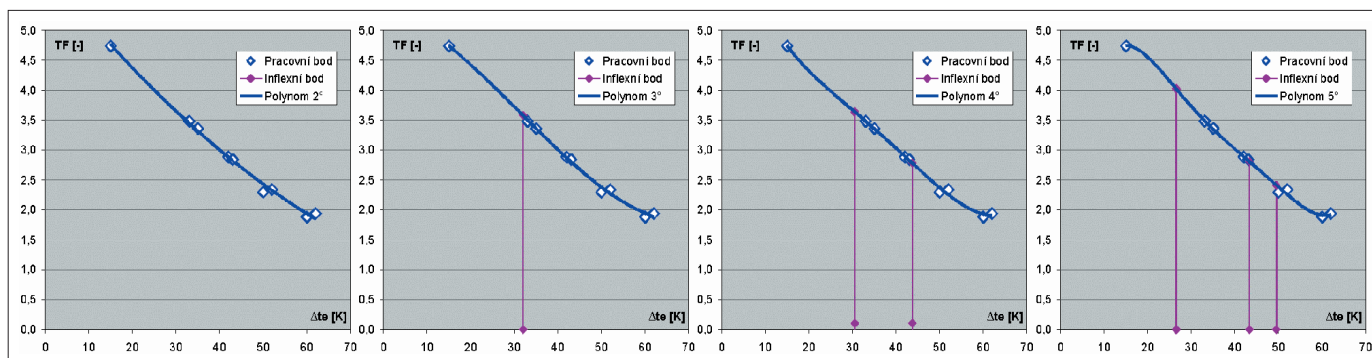


Obr. 5 Znárodnění způsobu, kterým byl určen stupeň polynomu, který nejlépe splňuje vlastnosti „plynulého oblouku“, vyjadřujícího závislost $TF - \Delta t$ RTČ

zorněny všechny čtyři polynomy, které byly „zkoušeny“ pro popsání závislosti $TF - \Delta t$ RTČ.

Pokud průběh závislosti $TF - \Delta t$ obecně definujeme jako „plynulý oblouk“, je zřejmé, proč průběhy $TF - \Delta t$ RTČ popsané polynomy 3 až 5° (s inflexními body) nemají v porovnání s průběhem závislosti $TF - \Delta t$ RK podle obr. 1

„technickou logiku“. Z porovnání všech polynomů je pak i zřejmé, v čem spočívá podstata „plynulého oblouku“. Závislost $TF - \Delta t$ RTČ určená z „atestačních“ měření a definovaná regresní křivkou proloženou měřeními získanými pracovními body – v daném případě polynomem 2° – tedy opět jednoznačně prokazuje existenci závislosti $TF - \Delta t$.



Obr. 6 Závislost $TF-\Delta t$ RTČ získaná z měření, popsaná postupně polynomy 2, 3, 4 a 5°. Zvýrazněny jsou inflexní body polynomů vyššího než 2°.

Pro porovnání s obr. 6 jsou znázorněny hodnoty Δt inflexních bodů (IB) polynomů 3 až 5°.

Tímto způsobem byly definovány všechny závislosti $TF-\Delta t$ (popisující vztah $TF_{RTČ} = f_{ce}(\Delta t)$), ve všech diagramech na obr. 4. **Relace mezi pracovními body a těmito polynomy – závislostmi $TF-\Delta t$ RTČ stanovenými „atestačním“ měřením – jednoznačně potvrzují obecnou platnost závislosti $TF-\Delta t$ pro reálná TČ.**

Pokud deklarujeme závislost $TF-\Delta t$ RTČ jako regresní křivku proloženou změřenými body, pak odchylky změřených bodů od této křivky určují „nepřesnost“ měření. Pro závislost $TF-\Delta t$ RTČ z obr. 4 vlevo nahoře (měření EN 14511/K2) je „nepřesnost“ graficky znázorněna na obr. 7. Vlevo v absolutních, vpravo v poměrných hodnotách. Vzhledem k tomu, že TF ve sledovaném rozsahu s růstem Δt významně klesá, je samozřejmé, že při stejné absolutní „nepřesnosti“ bude se vzrůstem Δt poměrná „nepřesnost“ narůstat. Přitom i větší absolutní „nepřesnost“ při vyšším Δt má své opodstatnění. S růstem Δt klesá topný výkon TČ, vesměs i příkon, tedy měřené energetické hodnoty. Obecně platí, že při dané technice měření zmenšování měřených hodnot způsobuje větší nepřesnost.

Pracovní body v diagramech na obr. 4 byly záměrně vyjádřeny průměrnými hodnotami většího počtu měření (v daném případě všech měření

s chladivem R 407C), aby se snížil vliv chyb měření. Je obecně známo, že

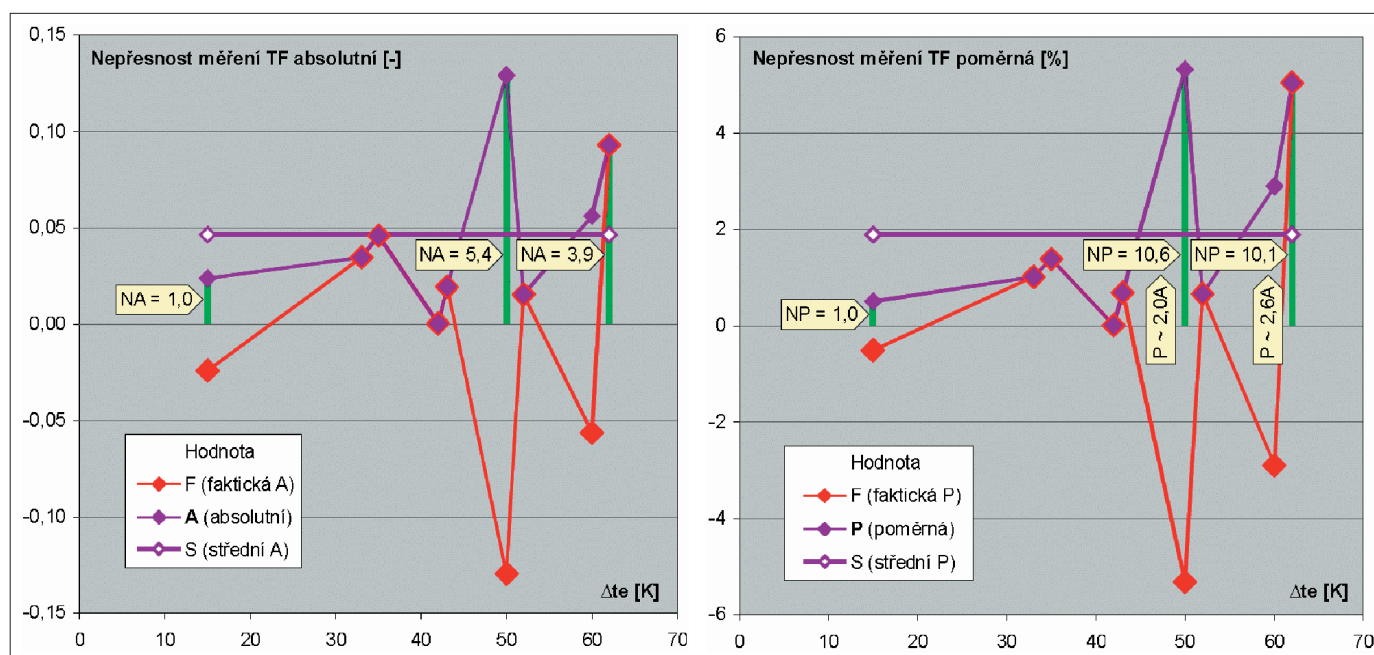
- každé měření je zatíženo určitou chybou způsobenou řadou faktorů;
- zvětšující se počet měření velikost chyby příznivě ovlivňuje.

To plně potvrzují i výsledky měření a jejich analýza zhotovená vyhodnocovacím SW. Zatímco převážná většina měření plně a s minimálními odchylkami závislosti $TF-\Delta t$ vyhovují tak, jak ji vyhovují průměrné hodnoty měření podle obr. 4, ojediněle vykazují nepřiměřeně velkou „nepřesnost“ změřených hodnot, případně jinou anomálii.

Na obr. 8 a 9 jsou znázorněny závislosti z měření dvou TČ, jejichž přesnost převyšuje přesnost průměru (podle obr. 4). I vizuálně je patrné, že i jen velice malou nepřesnost stavů B na obr. 8 způsobuje především jediný bod měření (zvýrazněný šipkou) s maximální nepřesností.

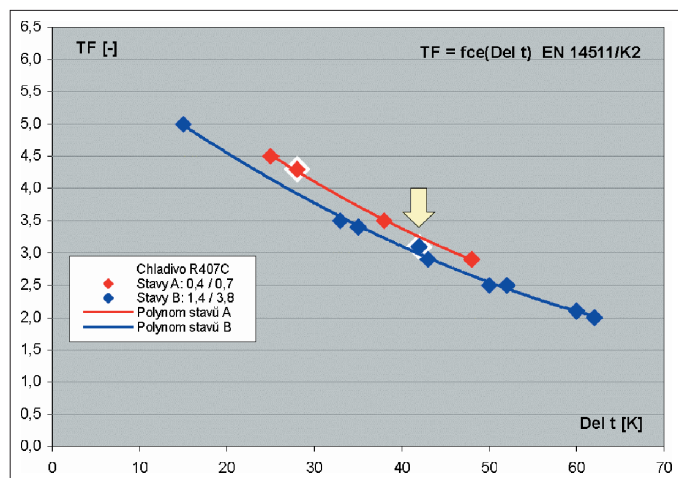
Již sama skutečnost, že řada měření vykazuje vyšší přesnost závislosti $TF-\Delta t$, než přesnost závislosti určených z průměrných hodnot měření dokládá, že jiná měření musí vykazovat přesnost menší.

Z několika „nestandardních“ měření byla vybrána dvě s markantními anomáliemi (obr. 10 a 11). Na obr. 10 je znázorněno měření s největšími od-

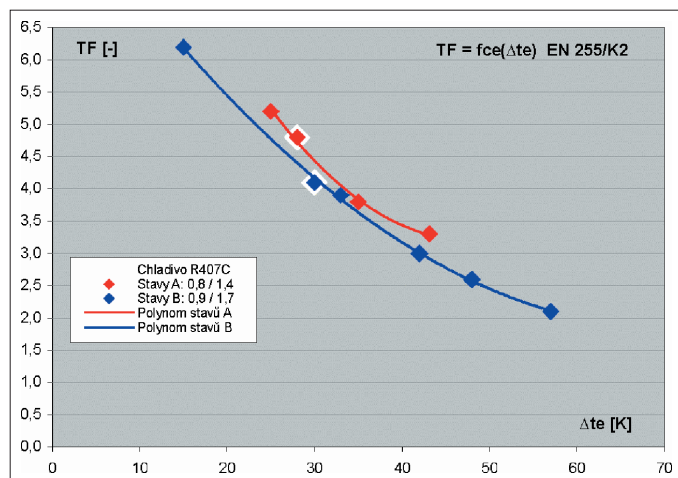


Obr. 7 „Nepřesnost“ měření podle EN 14511/K2 znázorněného na obr. 4

Vlevo v absolutních (A), vpravo v poměrných (P) hodnotách. Údaje v šipkách naznačují změny relací hodnot absolutních a poměrných. Pokládáme-li „nepřesnost“ při nejmenší hodnotě Δte za „jednotkovou“, pak zvýrazněné posloupnosti „nepřesností“ absolutních $NA = 1,0-5,4-3,9$ odpovídá posloupnost „nepřesností“ poměrných $NP = 1,0-10,6-10,1$. Se zvyšujícím se Δte se poměrné nepřesnosti zvětšují rychleji (2,0 a 2,6 krát) než absolutní.



Obr. 8 Jedno z měření podle EN 14511 vyhovující závislosti $TF-\Delta t$ s minimální odchylkou

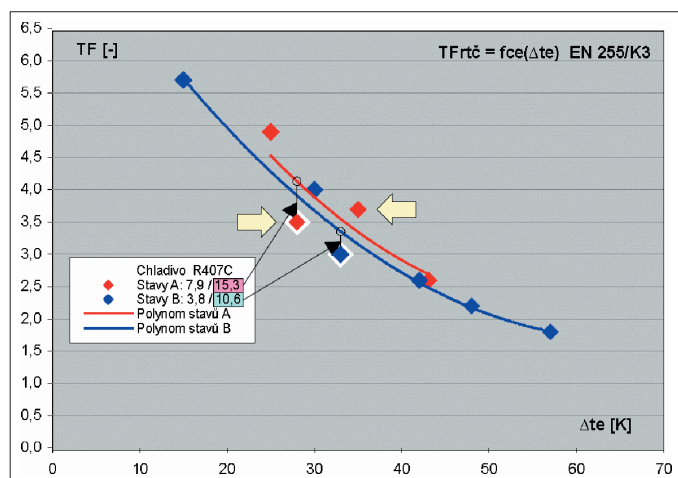


Obr. 9 Jedno z měření podle EN 255 vyhovující závislosti $TF-\Delta t$ s minimální odchylkou

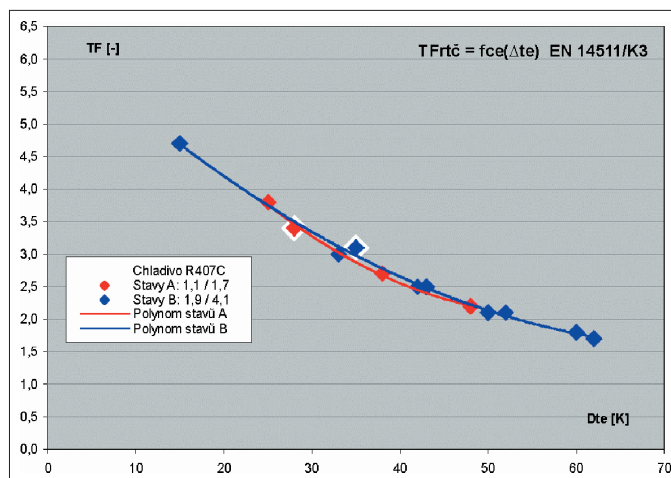
chybkami. Dva body pro stavy A označené šipkami zcela evidentně odporují závislosti $TF-\Delta t$. TF stoupá se zvyšujícím se Δt .

Na obr. 11 je znázorněno měření, sice s velkou přesností, ale evidentně s nelogickým průběhem závislosti $TF-\Delta t$ obou stavů. Závislost $TF-\Delta t$ stavů A v podstatě leží pod závislosti $TF-\Delta t$ stavů B. To odporuje logice i všem ostatním měřením.

Anomálie měření zobrazených na obr. 10 a 11 si lze stěží vysvětlit jinak, než větší chybou měření.



Obr. 10 Anomální měření podle EN 255 s nejvyššími odchylkami od závislosti $TF-\Delta t$



Obr. 11 Anomální měření podle EN 14511 s nelogickým průběhem závislosti $TF-\Delta t$ stavů A a B

Hovoříme-li ale o chybách měření, je třeba dodat, že určitou chybu vnáší i zaokrouhlování výsledků. Ve sledovaném případě [1] jsou TF zaokrouhlovány na jedno desetinné místo, což při vysokém Δt může způsobit poměrnou chybu až téměř 5 %! Vizuálně zřejmý nesoulad změřených TF se závislostí $TF-\Delta t$ v horních dvou diagramech na obr. 4. pro dvojici blízkých Δt (50–52 a 60–62) může být způsoben právě tím a znázorněná chyba může být jen zdánlivá!

„TRANSFORMAČNÍ“ ÚČINNOST TEPELNÉHO ČERPADLA

Přesto, že v uvedeném materiálu [1] nejsou u jednotlivých typů TČ uvedeny použité typy kompresorů, byl do první horní dvojice diagramů z obr. 4 zakreslen limitní TF ko určitého kompresoru (R 407C) a následně vyčíslen průběh účinnosti $\eta_{tt\check{c}r} = TF_{rt\check{c}}/TF_{ko} = fce(\Delta t)$ (pro kterou byl v [4] zaveden název „transformační“ účinnost TČ) pro oba stavy A a B. Na obr. 12 je zakreslen průběh $\eta_{tt\check{c}r}$ vyčíslený z bodů určených měřením, na obr. 13 průběh vyčíslený ze závislosti $TF-\Delta t$.

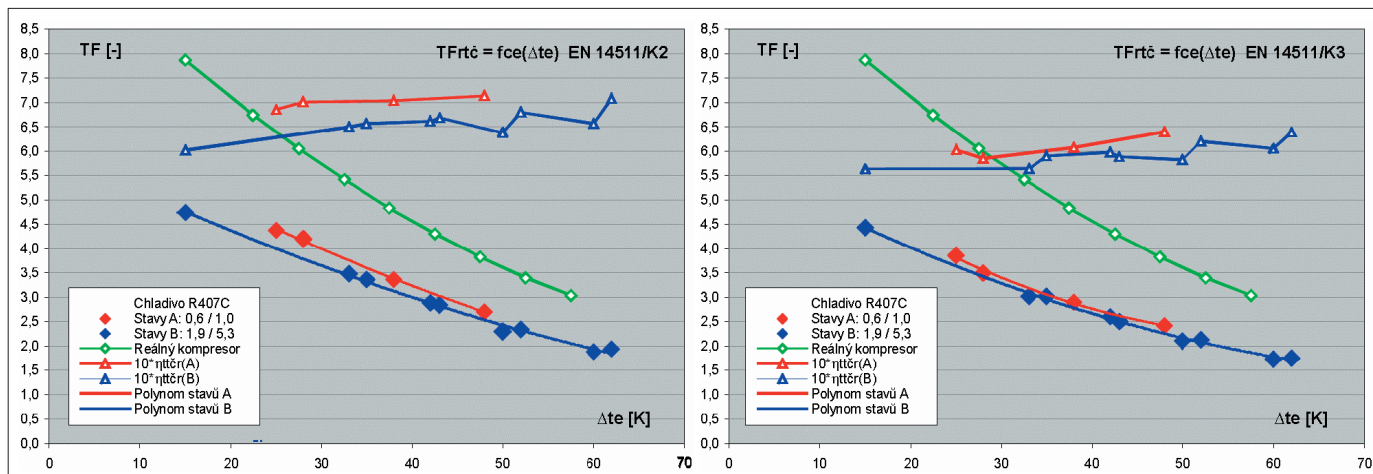
Průběh účinnosti

- ☐ potvrzuje dříve uvedené skutečnosti [4], odvozené z „logiky“ chladicího okruhu, tj. že s rostoucím Δt klesá Δt_z , což vede ke zvyšování účinnosti $\eta_{tt\check{c}r}$;
- ☐ logickou odlišnost účinností $\eta_{tt\check{c}r}$ při dvou definovaných stavech A a B;
- ☐ umožňuje učinit si představu s jakými účinnostmi $\eta_{tt\check{c}r}$ TČ při těchto dvou stavech pracuje.

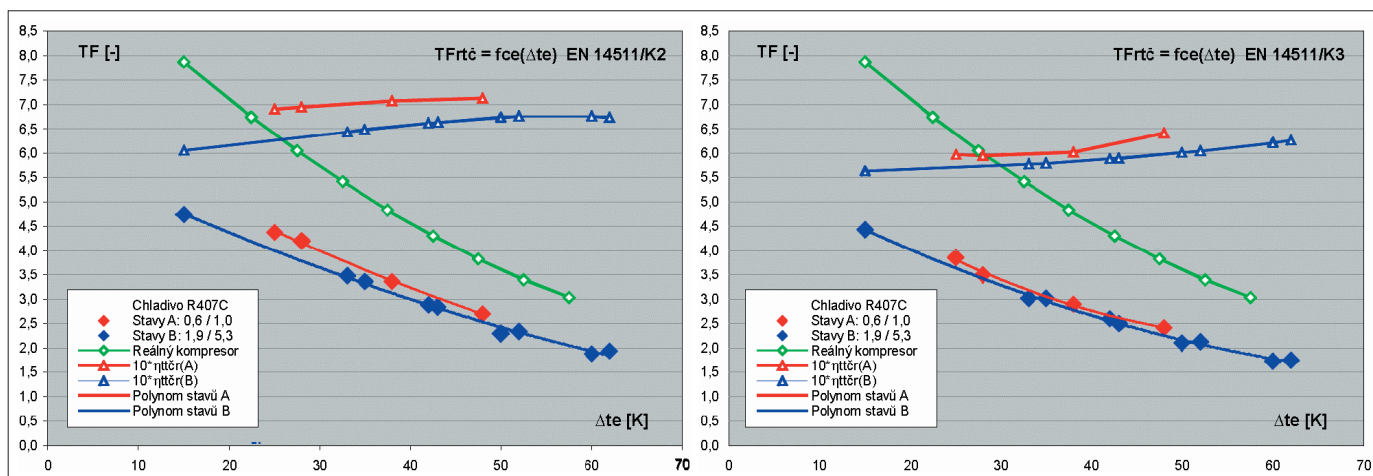
Porovnání účinností $\eta_{tt\check{c}r}$ na obr.12 a 13 dále potvrzuje platnost závislosti $TF-\Delta t$. Aby při plynulé změně Δt docházelo k „pilovitým“ změnám účinnosti (obr. 12), respektive aby křivka vyjadřující tuto závislost měla inflexní body, postrádá jakoukoliv logiku. Logický je průběh „plynulým obloukem“ (obr. 13), který je určen ze závislosti $TF-\Delta t$ RTČ odvozené z „atestačních“ měření. I tato skutečnost potvrzuje správnost a oprávněnost závislosti $TF-\Delta t$.

Hodnoty účinnosti $\eta_{tt\check{c}r}$ dávají představu, jaký reálný TF ($TF_{rt\check{c}}$) mohou TČ dosáhnout, pracují-li s kompresorem charakterizovaným závislostí $TF-\Delta t$ RK. Pro zajímavost lze hodnoty $\eta_{rt\check{c}r}$ porovnat s hodnotami $\eta_{tt\check{c}l}$ uvedenými v [4].

Závislost $TF-\Delta t$ byla dále ověřena i při spojitých měřeních, rámcově popsanych v [3].



Obr. 12 Zobrazení závislosti: $TF-\Delta t_{RT\dot{C}}$ v podobě $TF_{Rt\dot{C}} = fce(\Delta te)$ a $TF-\Delta t_{RK}$ v podobě $TF_{lko} = fce(\Delta ti)$
Účinnost $\eta_{tt\dot{C}r} = fce(\Delta ti)$ je počítána z hodnot TF určených „atestačním“ měřením.



Obr. 13 Zobrazení závislosti: $TF-\Delta t_{RT\dot{C}}$ v podobě $TF_{Rt\dot{C}} = fce(\Delta te)$ a $TF-\Delta t_{RK}$ v podobě $TF_{lko} = fce(\Delta ti)$
Účinnost $\eta_{tt\dot{C}r} = fce(\Delta ti)$ je počítána z hodnot TF určených ze závislosti $TF-\Delta t_{RT\dot{C}}$

PRAKTICKÉ MOŽNOSTI VYUŽITÍ ZÁVISLOSTI $TF-\Delta t$

Ze skutečností uvedených v předchozím je zřejmé, že závislost $TF-\Delta t$ se může použít např.

- k ověřování přesnosti „atestačních“ měření jednak přímo funkcí $TF_{Rt\dot{C}} = fce(\Delta te)$, jednak nepřímo s využitím funkce $\eta_{tt\dot{C}r} = fce(\Delta te)$;
- k „vyhlazení“ „atestačních“ měření;
- ke snížení počtu bodů, charakterizujících jednoznačně TF tepelného čerpadla.

K možnosti ad a) netřeba dalšího komentáře. Vše bezprostředně vyplývá z předchozího.

K možnosti ad b). „Vyhlazení“ měření regresní křivkou je obecně používaná metoda při vyhodnocování výsledků měření. Výsledky „atestačních“ měření v základní podobě ale nejsou „jednoparametrickými“ závislostmi a nemohou být proto regresní křivkou „vyhlazeny“. Standardním způsobem mohou být zpracovány, tj. „vyhlazeny“ až výsledky vyjádřené „jednoparametrickou“ závislostí $TF-\Delta t$.

K možnosti ad c). Pokud budeme $T\dot{C}$ měřené podle EN 145111 při stavu A i B charakterizovat jen třemi „atestačními“ okrajovými podmínkami, např. při stavu B: A20/W35, A2/W45 a A-7/W55 odpovídajících hodnotám $\Delta ti = 15, 42$ a 62 K a TF při těchto podmínkách budeme definovat hodnotami „základní“ závislosti $TF-\Delta t_{RT\dot{C}}$ určené z „atestačních“ měření, pak tyto tři body deklarují zcela shodnou závislost $TF-\Delta t_{RT\dot{C}}$. To platí proto, že poly-

nom 2° proložený takto definovanými třemi body je totožný s polynomelem 2° proložený všemi body „atestačního“ měření. To může zjednodušit práci při vyhodnocování provozu $T\dot{C}$ a zpracování celoroční energetické bilance.

VLIV VLHKOSTI VZDUCHU NA ZÁVISLOST $TF-\Delta t$

V souvislosti se sledovanou problematikou je třeba tento vliv zmínit. Je obecně známo, že při chlazení vlhkého vzduchu se odvádí jednak teplo citelné (chlazením vzduchu), jednak teplo skryté (kondenzací, respektive vymrzáním vlhkosti) – za předpokladu, že změna stavu vzduchu v Mollierově $h-x$ diagramu vlhkého vzduchu vykazuje odpovídající sklon. Kondenzace vlhkosti zvýhodňuje přestup a prostup tepla na výparníku a autoregulace chladicího okruhu následně zvýhodňuje energetické parametry $T\dot{C}$. Zvýhodnění bude tím větší, čím větší bude poměr skrytého a citelného tepla. Bude-li ale kondenzace probíhat za podmínek, kdy zkondenzovaná vlhkost na výparníku vymrzá, větší poměr skrytého a citelného tepla povede k rychlejší tvorbě námrazy, která naopak zhorší prostup tepla na výparníku a autoregulace následně zhorší energetické parametry $T\dot{C}$. Již jen z tohoto stručného popisu problému je zřejmé, že vlhkost vzduchu ovlivňuje energetické parametry $T\dot{C}$ a bude tedy ovlivňovat i závislost $TF-\Delta t$.

Na tomto místě je pak třeba uvést, že normy citované v úvodu to berou v úvahu a k definovaným „atestačním“ teplotám přiřazují i definovanou

„atestační“ vlhkost vzduchu (s výjimkou teploty $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde se vlhkost ne-definuje). Zde není důležité, jak je vlhkost definována.

Obr. 14 (tabulka) „Atestační“ okrajové podmínky podle normy EN 14511

K „atestačním“ teplotám jsou přiřazeny

- „atestační“ relativní vlhkosti (RV N)
- relativní vlhkosti vypočtené podle [2] (RV L2)
- relativní vlhkosti vypočtené podle [5] (RV L5)

Teplota	[$^{\circ}\text{C}$]	20	10	7	7	-7	-15
RV N	[%]	40	78	89	84	75	
RV L2	[%]	51,2	59,8	59,8	58,1	55,7	
RV L5	[%]	56	71,5	73,3	73,3	70,1	

V tab. na obr. 14 jsou vyneseny hodnoty „atestačních“ teplot a jim přiřazených „atestačních“ relativních vlhkostí (RV N). K těmto hodnotám jsou dále přiřazeny hodnoty relativní vlhkosti (RV L2), odpovídající závislosti $RV = f_{ce}(te)$, které byly pro podmínky ČR vypočteny podle vztahu (2.30) z [2]. Dále byly přiřazeny hodnoty relativní vlhkosti (RV L5), vypočtené podle vztahu uvedeného v [5]. Vztah je principiálně shodný se vztahem uvedeným v [2], ale liší se jednou konstantou.

Je zřejmé, že vypočtené hodnoty relativní vlhkosti (které přibližně určují průměrnou relativní vlhkost v ČR při dané teplotě vzduchu) se více či méně liší od „atestačních“ hodnot. S přihlédnutím k výše uvedenému se proto mohou při dané teplotě vzduchu reálné energetické parametry lišit od změřených hodnot „atestačních“. To platí pro všechny energetické závislosti, tedy i závislost $TF-\Delta t$. Zda bude odchylka v úrovni chyby měření nebo větší by se mohlo určit jedině měřením.

ZÁVĚR

Z pohledu měření a především „atestačních“ měření přináší závislost $TF-\Delta t$ zásadní výhodu. Ze sady „nekorespondujících atestačních“ (a z pohledu správnosti obtížně kontrolovatelných) měření vytváří sadu „korespondujících atestačních“ (a z pohledu správnosti snadno kontrolovatelných) měření. To je dáno tím, že závislost $TF-\Delta t$ je „jednoparametrická“, což umožňuje její standardní „vyhlazení“ a popis regresní křivkou. Tím je dána i možnost jednoduché a přesné deklarace topného faktoru v celém pracovním rozsahu TČ jen třemi pracovními body.

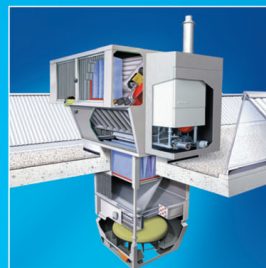
Tento článek byl zpracován v rámci řešení Programu výzkumu a vývoje IMPULS ev.č. FI-IM4/006 s názvem „Vývoj tepelných čerpadel vzduch – voda pro ekologické a energeticky úsporné vytápění, ohřev vody a větrání“ za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím MPO ČR.

Kontakt na autora: klazar@lit-cz

Použité zdroje:

- [1] Wärmepumpen-Testzentrum Buchs, WPZ – Bulletin, Ausgabe 02-2008.
- [2] Chyský, J., Hemzal, K. a kolektiv: *Větrání a klimatizace*, Brno: Bolit, 1993, 490 s. 3. přeprac. vydání. ISBN 80-901574-0-8.
- [3] Klazar, L.: Význam „zkoušení“ při vývoji tepelných čerpadel „vzduch-voda“. *Topenářství – instalace*, č. 1 až 3/2009.
- [4] Klazar, L.: Jak je to vlastně s topným faktorem (2). *Topenářství – instalace*, č. 1 a 2 /2010.
- [5] Petrák, J., Petrák M.: Řešení kondenzační strany chladicích zařízení, Část 2: Referenční klimatické podmínky. *Vytápění, větrání, instalace*, 2006, roč. 15, č. 1, s. 31–33.
- [6] Petrák, J., Petrák M.: Zkoušení a hodnocení tepelných čerpadel. *Vytápění, větrání, instalace*, 2008, roč. 17, č. 5, 240–242.
- [7] Rektorys, K. a spolupracovníci: *Přehled užité matematiky*, SNTL Praha, 1968. ■

Nastavte si vyšší laťku: Hoval systémy klimatizace



RoofVent® condens. Větrací jednotka s kondenzačním kotlem pro vytápění vysokých hal.



TopVent® DGV. Cirkulační jednotka s plynovým ohřevem pro vytápění vysokých prostor.

Jsou integrovanou součástí nákupních center a výstavních hal. Cíleně vytápějí plochy výrobních hal. Šetří energii a zamezují teplotnímu vrstvení. Přispívají ke zvýšení produktivity ideálními pracovními podmínkami. Systémy klimatizace Hoval zvládnou i vysoko položenou laťku. Provozovatelé, projektanti a instalační firmy ve více než 25 zemích spoléhají na know-how Hoval, pokud jde o větrání, vytápění nebo chlazení hal. Zjistěte proč a vyžádejte si podklady:

Hoval CZ s.r.o. · Republikánská 45, 312 04 Plzeň
Tel. 377 266 023 · www.hoval.cz

Hoval

S odpovědností k energii a životnímu prostředí