

Ing. Zdeněk ČEJKA, CSc.  
ALFACO s.r.o.

# Digitální spirálové kompresory v klimatizaci

## Digital Scroll Compressors for Air Conditioning

Recenzent  
Ing. Miloš Lain, Ph.D.

Klimatizační zařízení se stále více osazují různými typy rotačních kompresorů, mezi kterými převládají spirálové. Pístové kompresory – zejména hermetické jsou postupně zcela vytlačovány a ve výrobních programech řady výrobců klimatizace již vůbec nejsou uvedeny. Společnost Copeland jako jeden z největších výrobců chladivových kompresorů nabízí ve svém programu rotačních kompresorů několik typových řad vhodných zejména pro klimatizační zařízení. Digitální typ spirálový kompresor s plynulou regulací výkonu je významný přínos k úspoře energie v klimatizačních zařízeních.

**Klíčová slova:** klimatizace, kompresor, digitální spirálový kompresor, regulace

*Air-conditioning equipment is more and more fitted with different types of rotary compressors, mostly the I type. Piston compressors – namely hermetic compressors are step by step fully displaced and often are not further included in production schedule of many air-conditioning producers. The Copeland Company as a one of the biggest refrigerant compressors' producers offers in its program of rotary I compressors several type series suitable especially for the air-conditioning equipment. Digital I with a continuous output control is an important contribution to energy savings in the air-conditioning equipment.*

**Key words:** air-conditioning, compressor, digital compressor, control

## ÚVOD

V klimatizačních systémech je často vyžadována relativně přesná regulace teploty prostředí, přeneseně teploty teplotnosné látky – obvykle vody. Způsobů řízení teploty chlazeného (někdy ohřívaného) media je celá řada. Jedním ze způsobů ovládnání konečné teploty je řízení výkonu chladicího systému – prostřednictvím ovládnání kompresoru. Kompresor tvoří srdce chladicí soustavy chladicího zařízení. V řadě případů je požadována plynulá regulace výkonu chladivového kompresoru v určitém rozmezí. Jednou z možností, která se často používá je řízení provozních otáček kompresoru. Změny otáček kompresoru mají svá omezení. Meze jsou dány charakterem poháněcího motoru, způsobem mazání kompresoru, konstrukčním provedením použitého kompresoru a podobně. Minimálně rovnocenným řešením plynulé regulace výkonu kompresoru změnou provozních otáček motoru kompresoru je systém založený na principu přerušování pracovní doby kompresoru bez přerušování jeho provozu.

## SPIRÁLOVÝ KOMPRESOR V KLIMATIZACI

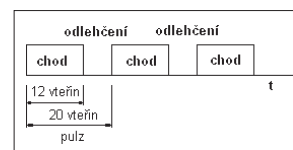
V klimatizační technice a rovněž v technologii tepelných čerpadel se stále více rozšiřuje používání rotačních spirálových kompresorů. Plynulá regulace kompresorů má rovněž svá omezení. Běžný spirálový kompresor lze obvykle regulovat v rozmezí zhruba  $\pm 15\%$  kolem jmenovitých otáček. To je dáno charakterem konstrukčního řešení kompresoru. Kompresory obvykle využívají mazací systém bez čerpadla, který využívá dynamické působení rotace hřídele motoru kompresoru. Při poklesu otáček by se mohlo stát, že se mazací systém dostane do nestabilního stavu a mazání se přerušuje. Následkem je porucha kompresoru. Jiná skutečnost je chlazení motoru kompresoru nasávanými parami chladiva, které se u řady konstrukčních řešení spirálových kompresorů využívá. Při poklesu proudění par chladiva, které odvádějí teplo z motoru, by mohl být motor neúměrně přehříván a provoz by byl přerušován díky činnosti jisticích prvků. U některých řešení spirálových kompresorů se rovněž počítá s působením odstředivých sil na správný kontakt a těsnost rotorů. Tyto skutečnosti musí být při použití a případné konstrukční úpravě spirálových kompresorů brány v úvahu.

## PRINCIP DIGITÁLNÍHO SPIRÁLOVÉHO KOMPRESORU

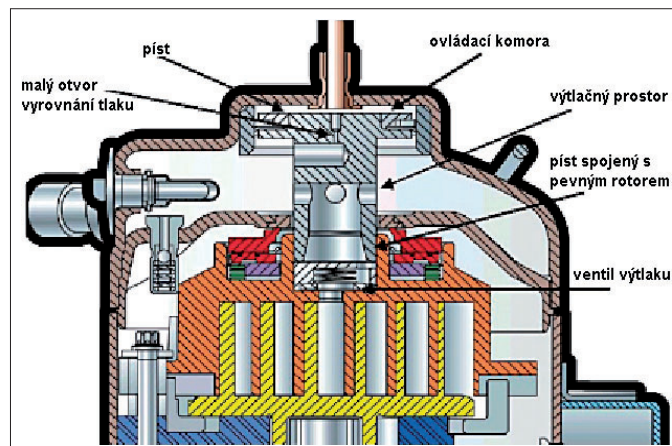
Zcela jiný princip řízení výkonu spirálového kompresoru zvolil výrobce Copeland. Kompresory Copeland mají patentovaný systém odlehčování roto-

rů pro případ rozběhu nebo vniknutí kapiček chladiva do kompresoru. Tento systém umožňuje vzájemný pohyb rotorů v radiálním i axiálním směru. Například se mohou při nadměrném zvýšení tlaku mezi rotory oba rotory od sebe osově oddálit o cca 1 mm a umožnit tak srovnání tlaků uvnitř kompresního prostoru mezi na přijatelnou mez. Tuto vlastnost spirálových kompresorů Copeland výrobce záměrně využil pro změnu dodávaného objemu par kompresorem. Jestliže se rotory od sebe osově oddálí, nejsou ve vzájemném kontaktu a stlačovací proces je přerušen. Systém plynulé regulace je založen na principu opakovaného odlehčování rotorů – přerušování pracovní fáze při stlačování par chladiva na určitou krátkou dobu. Kompresor pracuje plynule s ovládnáním odlehčení v určitých intervalech, které se volí podle doporučení výrobce v rozmezí 10 až 30 vteřin.

Regulačnímu systému se říká PWM, což znamená systém s proměnlivou šířkou pulzu. Pulzem je míněn jeden například 20vteřinový interval. V rámci tohoto pulzu – intervalu je jeho určitá část věnována odlehčení kompresoru. Například při regulaci výkonu na 60 % je pracovní část 20vteřinového pulzu dlouhá 12 vteřin, během které pracuje kompresor normálně s plným výkonem. Ve zbylé části pulzu – v našem případě v průběhu 8 vteřin, je kompresor odlehčen, rotory nejsou v trvalém kontaktu a páry chladiva nejsou stlačovány. Tyto pulzy se neustále opakují a mění se poměr pracovní a odlehčené části pulzu podle požadavku na změnu výkonu.



Obr. 1 Způsob chodu kompresoru



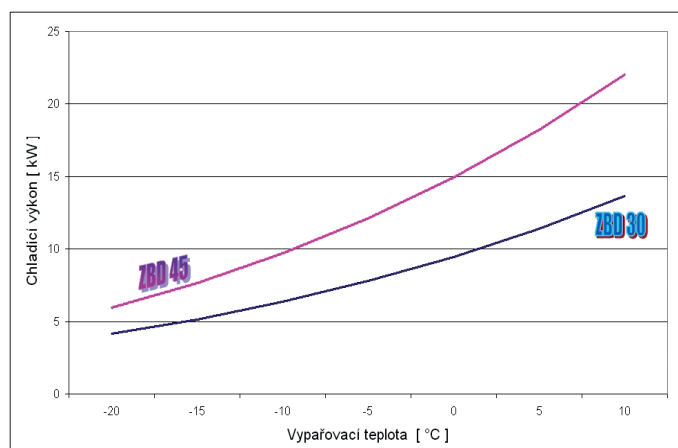
Obr. 2 Odlehčovací mechanismus

## PROVOZNÍ ROZSAH KOMPRESORŮ

Společnost Copeland vyrábí digitální spirálové kompresory řady ZRD a ZBD – středoteplotní ve dvou provedeních. Běžně lze tyto verze objednat a montovat do různých zařízení s kompresory samotnými, nebo v kombinaci s více kompresory. V programu Copelandu jsou dvoukompresorové kondenzační jednotky s digitálními spirálovými kompresory dodávány dva roky, sólo kompresory jsou dodávány od roku 2007. Podrobné technické údaje – výkony, příkony hodnoty spotřeby proudu a další užitečné informace jsou v nové verzi návrhového programu Select 6.4. Program je běžně bezplatně možno stáhnout ze stránek evropského Copelandu [www.eCopeland.com](http://www.eCopeland.com), nebo postupem ze stránek Alfaco [www.Alfaco.cz](http://www.Alfaco.cz).

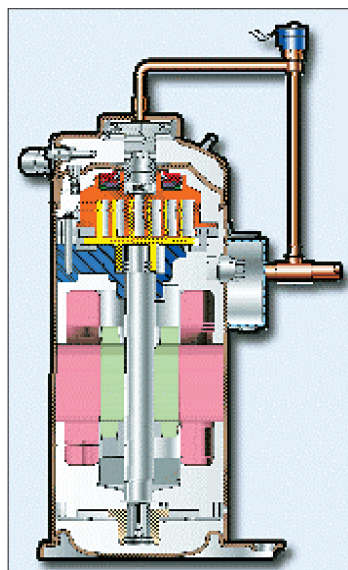
První dvě velikosti dodávaných digitálních kompresorů ZBD – typy ZBD 30 a ZBD 45 jsou určeny pro středoteplotní zařízení s chladivem HFC, CFC i FC. Číselné údaje byly získány měřením pro R 404A a R 22. Kompresory mají jmenovité chladicí výkony s chladivem R 404A při podmínkách 0/+40 °C bez podchlazení kapalného chladiva 8,7 a 13,7 kW s příkonem 3,64 a 5,55 kW. Rozsah vypařovacích teplot je od -45 do +10 °C při kondenzačních teplotách do +60 °C.

Průběh chladicích výkonů obou typů s chladivem R 404a popisuje obr. 3.



Obr. 3 Charakteristiky spirálových kompresorů ZBD

Vedle digitálních spirálových kompresorů ZBD se vyrábí klimatizační verze ZRD v odpovídajících velikostech jako je základní řada hermetických ZR – od velikosti ZRD 42 do typu ZRD 81.



Obr. 4 Řez digitálním spirálovým kompresorem



Obr. 5 Vnější vzhled digitálního kompresoru

Tab. 1 Přehled dodávaných ZRD kompresorů

Typ	Výkon	Příkon	Provedení	Chladivo
	kW			
ZRD 42 KCE PFJ	10,3	2,25	230 V	407 C
ZRD 48 KCE PFJ	11,8	3		
ZRD 49 KCE TFD	12	3	3x 380V	
ZRD 61 KCE TFD	14,9	3,8		
ZRD 72 KCE TFD	17,6	4		
ZRD 81 KCE TFD	19,8	4,5		

## DIGITÁLNÍ KOMPRESOR DUAL

Kromě stojatých spirálových kompresorů využívá principu odlehčení rotoru i vodorovný zdvojený kompresor nazývaný Dual dodávaný ve dvou velikostech – s chladicím výkonem 130 a 160 kW.

Jak vypadá konstrukce digitálního spirálového kompresoru, popisuje obr. 2 a 4, v kterém je kompresor zobrazen v řezu. Rotory se od sebe oddálí na určitý přesně stanovený časový okamžik a přeruší se tak dodávka par chladiva do vysokotlaké části mechanickým spojením pevného rotoru se servosystémem, který díky připuštění sacího tlaku do servosystému – nikoliv do kompresorové pracovní části – nadzdvihne pevný rotor o ca 1 mm a přeruší tím stlačovací proces. Na obr. 4 je podrobněji zobrazeno konstrukční řešení vnitřní části digitálního spirálového kompresoru. U kompresorů ZBD 30 a ZBD 45 je tlak veden vnějškem – mimo plášť kompresoru – na první pohled je tak patrný rozdíl mezi běžným a digitálním kompresorem (obr. 5). Vnější potrubí není součástí základní dodávky kompresoru – zhotovuje se v různém provedení u konkrétního kompresoru. U větších typů – například u dual kompresoru je připuštění chladiva ze sání do servomechanismu uvnitř kompresoru a vně je umístěn pouze ovládací elektromagnetický ventil bez viditelného potrubí. Na obr. 6 je pohled na vodorovný kompresor dual se dvěma rotory. Elektromagnetický ventil odlehčení je viditelný v pravé horní části kompresoru.

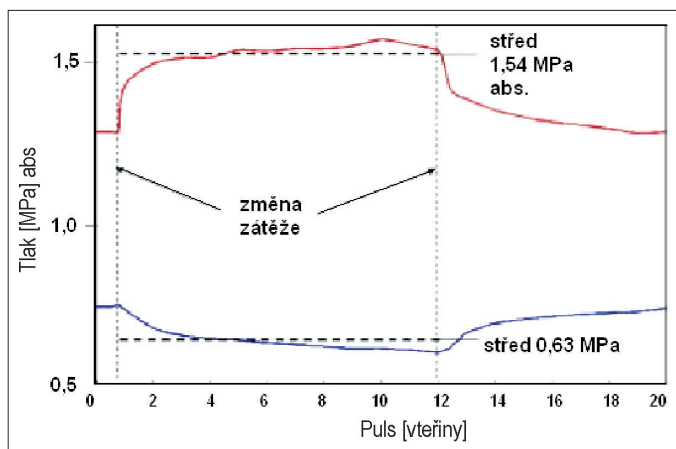


Obr. 6 Dvourotorový kompresor Dual

Protože cyklus provozu připomíná jiné dvojkové systémy 0-1 je kompresor nazýván digitální. Rozsah ovládnutí výkonu je v mezích 10 až 100 % výkonu daného kompresoru. Otáčky motoru kompresoru se nemění, průtok chladiva je v době provozu vždy úplný – 100% a proto jsou odstraněny problémy s mazáním (kompresor stále se maže) a s vrácením maziva (rychlost proudění chladiva je vždy dostatečná), což v případě regulace výkonu změnou otáček motoru kompresoru musí být vždy pečlivě řešeno.

## PRŮBĚH TLAKŮ V KOMPRESORU

Při odlehčení chodu oddálením rotorů nedochází k úplnému srovnání sacího a výtlačného tlaku, protože zdvih rotoru je relativně nízký. Tlaky v me-



Obr. 7 Průběh tlaků v kompresoru

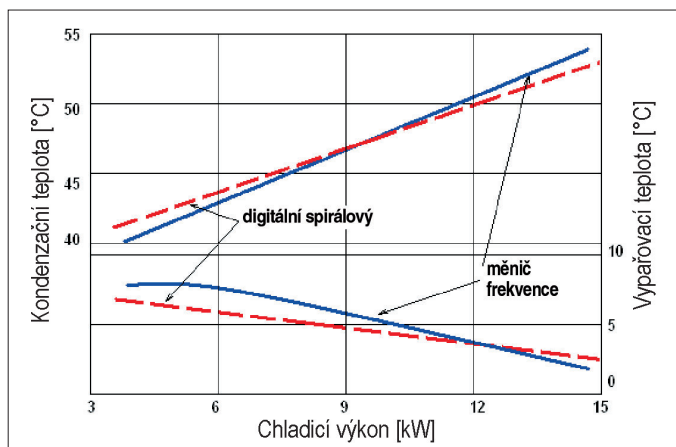
ziorotovém prostoru se změní v době odlehčení jen omezeně. Obr. 7 popisuje průběh tlaků v sacím a meziorotovém prostoru při regulaci výkonu na 60 %. Doba cyklu je v uvedeném případě 20 vteřin.

V chladicích a klimatizačních soustavách se vyskytují řešení s kompresory s proměnlivými otáčkami. Změna otáček bývá řešena změnou frekvence napájecí sítě. Různá řešení využívají i speciální motory s možností použití rozsahu frekvence napájení například od 20 do 100 Hz. Při změně otáček motoru kompresoru je nutné řešit mazací systém, aby bylo zajištěno mazání i při poměrně nízkých otáčkách motoru.

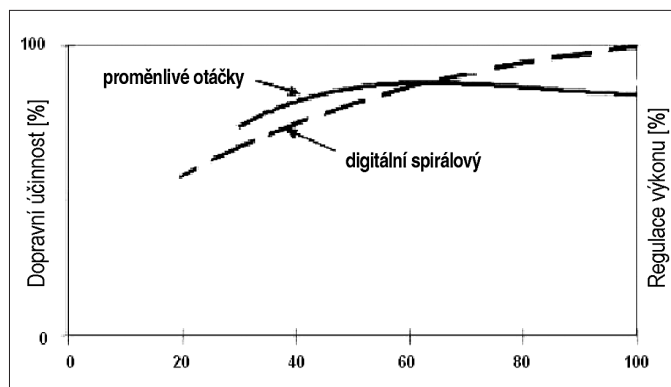
## POROVNÁNÍ DIGITÁLNÍ REGULACE OTÁČEK

Porovnáváme-li oba systémy regulace výkonu, digitální a proměnlivé otáčky, lze srovnání posuzovat z různých hledisek. Jestliže dochází ke změně výkonu chladivového kompresoru díky jeho odlehčení nebo snížení otáček – to v případě snížení výkonu – mění se současně zatížení příslušných výměníků tepla. Výparník a kondenzátor mají neměnné velikosti a se snížením jejich zatížení se mění i vypařovací a kondenzační teploty. Obr. 8 popisuje změny vypařovací a kondenzační teploty jak u digitálního kompresoru, tak i u spirálového kompresoru s proměnlivými otáčkami použitými střídavě v jednom zařízení se stejnými ostatními prvky.

Průběh změny teplot u digitálního spirálového kompresoru – přerušované čáry – je v podstatě přímočarý a změna probíhá v menším rozsahu, než v případě použití kompresoru s proměnlivými otáčkami. To je dáno tím, že digitální kompresor dodává stále plné množství chladiva, i když přerušovaně. Menší změny teplot ve výměnících mírně zlepšují podmínky pro regulaci celého systému.



Obr. 8 – Srovnání regulace otáček a digitální kondenzační teplota, chladicí výkon, vypařovací teplota



Obr. 9 Změna účinnosti kompresorů

Z hlediska využití vlastností kompresoru je možno srovnávat i průběh chladicího výkonu při regulaci, nejen jeho hodnotu. Digitální kompresor má díky systému PWM průběh změny výkonu v regulačním pásmu blízký lineárnímu. Z hlediska dopravní účinnosti lze porovnat digitální kompresor s kompresorem s proměnlivými otáčkami například v rozmezí uvedeném na obr. 9. Při vypnutí regulace PWM běží digitální spirálový kompresor jako běžný kompresor bez regulace a dopravované množství par chladiva je prakticky jmenovité. Při regulaci otáček jsou otáčky kompresoru obvykle i při chodu na plný výkon nižší než u stejného kompresoru bez možnosti řízení otáček. Kompresor tak obvykle nedosahuje plný průtok. Uvedený diagram vychází z měření dvou kompresorů přibližně stejné výkonnosti.

Digitální kompresory se nepoužívají pouze v jednorotových zařízeních, ale s výhodou i ve vícekompresorových systémech – ve sdružených jednotkách. Ve vícekompresorové soustavě stačí použít pouze jeden digitální kompresor a výkonová regulace je opravdu velmi široká. Při dvou kompresorech lze tak docílit rozsah výkonů od 5 do 100 %.

## VÝHODY DIGITÁLNÍCH SPIRÁLOVÝCH KOMPRESORŮ

Hlavní přednosti digitálních spirálových kompresorů jsou zejména:

- možnost širokého rozsahu výkonů bez neúměrné ztráty energetické účinnosti;
- zajištění mazání pohyblivých částí kompresoru bez nutnosti použití mazacího čerpadla;
- dostatečný odvod tepla z elektromotoru i při regulaci výkonu díky vhodné rychlosti proudění par chladiva;
- zajištění vrácení maziva ze systému díky stále odpovídající rychlosti par chladiva v potrubí i při regulaci.
- Většina dílů kompresoru je shodná s běžným spirálovým kompresorem – snížení výrobních nákladů.
- Nevyžaduje dodatečné prvky pro změnu otáček jako je frekvenční měnič.
- Použitý elektromotor je běžného typu používaného ve skrovech.
- Odpadá nutnost ošetření vlivu změny frekvence napájení jako jsou například sinusové filtry.
- Změna výkonu nevyvolává velké změny teplot ve výměnících – zejména ve výparníku, nedochází k vyššímu odvlhčení vzduchu (v případě klimatizace) díky vyšší povrchové teplotě teplosměnné plochy u digitálního spirálového kompresoru.

Príspevek byl presentován na konferenci Klimatizace a větrání 2008.

Kontakt na autora: [alfaco@alfaco.cz](mailto:alfaco@alfaco.cz)

## Použité zdroje:

- [1] Hundy, G. : Copeland Digital Scroll for Refrigeration, Copeland 2007
- [2] Firemní literatura Copeland.