

BEZPEČNOST KOMPRESORŮ S HOŘLAVÝMI CHLADIVY – TECHNICKÉ A LEGISLATIVNÍ ASPEKTY

Josef Žabecký

Danfoss s.r.o.

ABSTRAKT

Přechod na chladiva s nízkým GWP je zásadním krokem k dekarbonizaci chlazení a vytápění. Hořlavá chladiva typu A2L a A3 však přinášejí zvýšené nároky na bezpečnost, které musí být řešeny na úrovni komponent i celých systémů. Článek shrnuje legislativní rámec (EN 378, IEC 60335, PED, ATEX) a představuje hlavní konstrukční opatření kompresorů určených pro hořlavá chladiva. Pozornost je věnována i použití příslušných frekvenčních měničů. Dále jsou popsány ATEX-certifikované laboratoře a Aplikační a Výzkumná centra Danfoss, které umožňují OEM výrobcům validovat zařízení v reálných podmínkách a výrazně zkracují kvalifikační proces. Článek ukazuje, že díky kombinaci bezpečně navržených komponent a moderních testovacích kapacit je možné dosáhnout plné shody s legislativou, vysoké účinnosti i bezpečného provozu s hořlavými chladivy.

1. ÚVOD

Používání chladiv s nízkým potenciálem globálního oteplování (GWP) je klíčovým trendem v oblasti chlazení a tepelných čerpadel. Stále častěji se proto uplatňují přírodní a syntetická chladiva s nižším dopadem na životní prostředí, která jsou však zároveň hořlavá. Typicky jde o uhlovodíky (R290 – propan, R600a – isobutan) nebo některá mírně hořlavá HFO chladiva (např. R454C, R1234ze). Bezpečnost jejich aplikace je zásadní – jak z pohledu technického, tak i legislativního.

2. LEGISLATIVNÍ RÁMEC A NORMY

Používání hořlavých chladiv je regulováno kombinací mezinárodních a lokálních předpisů. Na evropské úrovni platí zejména normy EN 378 a IEC 60335-2-40, které definují podmínky instalace, maximální náplně chladiva i požadavky na elektrická zařízení. Směrnice o tlakových zařízeních PED 2014/68/EU a ATEX 2014/34/EU dále určují limity pro konstrukci a provoz. Výrobci kompresorů, včetně společnosti Danfoss, proto při vývoji zohledňují nejen energetickou účinnost, ale především minimalizaci rizika úniku chladiva, jeho vznícení či případné exploze.

3. TECHNICKÁ ŘEŠENÍ Z HLEDISKA BEZPEČNOSTI

Moderní kompresory určené pro hořlavá chladiva využívají řadu konstrukčních opatření, která zajišťují spolehlivý a bezpečný provoz.

3.1 Ochranná opatření pro A2L/A3 aplikace mimo Ex zónu

- Zesílená těsnění a spoje – odolné těsnicí materiály a konstrukce s minimem potenciálních netěsností.

- Optimalizovaná svorkovnice a kabeláž – hermetické oddělení elektrických částí, vodiče s pláštěm odolným vůči uhlovodíkům.
- Speciální oleje – chemicky stabilní oleje s nízkou tendencí k pění, kompatibilní s těsněními a materiály vystavenými A3 chladivům.
- Povrchová úprava vinutí motoru – elektroizolační laky zvyšující odolnost vinutí proti chemické degradaci.
- Minimalizace zdrojů zapálení – konstrukce motoru a elektroniky s nižší provozní teplotou, doplněná o teplotní ochranu vinutí.
- Testování při zvýšeném tlaku a vibracích – nadstandardní validace těsnosti a mechanické odolnosti.
- Integrované ochranné prvky – tepelné spínače, PTC senzory nebo interní klixon pro rychlé odstavení při přehřátí či nadproudu.

3.2 Ochranná opatření pro kompresory v Ex provedení

Pro kompresory instalované v prostředí s klasifikovanou zónou (Zóna 1 nebo Zóna 2) podle směrnice ATEX 2014/34/EU a standardů IECEx je nutné použít speciální konstrukční řešení. Základním principem je, aby žádná část zařízení nemohla při běžném ani poruchovém provozu iniciovat hořlavou atmosféru. To se dosahuje zejména následujícími opatřeními:

- Provedení krytů a svorkovnic se zvýšenou bezpečností – elektrické prostory jsou navrženy s důrazem na eliminaci jiskření, vyšší kvalitu izolace a kontrolu teplot povrchu.
- Tlakově odolná obálka (Ex d) – u vybraných aplikací se využívají kryty konstruované tak, aby odolaly vnitřní explozi a zabránily přenosu plamene do okolí.
- Teplotní klasifikace – všechny povrchy kompresoru musí být navrženy tak, aby jejich maximální teplota nepřekročila příslušnou teplotní třídu (např. T3 = 200 °C), čímž se eliminuje riziko samovznícení okolní směsi.
- Uzemnění a vyrovnaní potenciálů – všechny vodivé části musí být spolehlivě uzemněny, aby se zabránilo elektrostatickým výbojům.
- Použití certifikovaných komponent – svorkovnice, kabelové průchodky, senzory a další díly musejí být Ex-certifikovány a montovány v souladu s IEC 60079-14.
- Speciální povrchové nátěry – kompresory v Ex provedení jsou opatřeny nátěry odolnými proti korozi a chemickému působení hořlavých plynů a par. Tyto povrchové úpravy zajišťují dlouhodobou stabilitu a zabraňují degradaci povrchu, která by mohla vést ke vzniku jisker nebo lokálnímu přehřívání.
- Dokumentace a značení – kompresory v Ex provedení nesou štítek s označením zóny, druhu ochrany a teplotní třídy, což umožňuje bezpečnou integraci do systému.

3.3 Frekvenční měniče u A2L/A3 aplikací

Použití frekvenčních měničů (FM) v kombinaci s kompresory na A2L a A3 chladiva je dnes standardem, avšak klade vyšší požadavky na návrh:

- FM se instalují mimo prostor, kde by mohlo dojít k úniku chladiva, nejčastěji do samostatného rozvaděče s ventilací. V případech, kdy musí být měnič umístěn blíže k okruhu, je nezbytné zajistit vhodné krytování a nucené odvětrávání.
- Klíčové je propojení FM s detekcí chladiva – při úniku musí systém automaticky aktivovat bezpečné odstavení kompresoru (STO – Safe Torque Off) a spustit havarijní větrání.

- Pro detekci úniku se používají senzory chladiva (např. DST G-series), jejichž signál lze přímo propojit s řídicí logikou a bezpečnostními funkcemi systému.

Z pohledu elektrické bezpečnosti a spolehlivosti motoru je nutné:

- Použití dV/dt filtrů a stíněných motorových kabelů ke snížení napěťového namáhání vinutí a ložisek.
- Vhodná parametrizace měniče pro omezení rezonancí v provozním pásmu.
- Sledování teploty motoru pomocí PTC nebo PT100.

Tato opatření umožňují využít výhod plynulé regulace výkonu a vyšší účinnosti bez kompromisů v oblasti bezpečnosti.

3.4 Celková bezpečnost zařízení

Danfoss spolupracuje s OEM výrobcí na validaci celého chladicího okruhu a na doplnění vhodných regulačních i bezpečnostních komponent, protože samotný kompresor představuje pouze jeden článek řetězce – celková bezpečnost musí být vždy posuzována na úrovni celého zařízení.

4. ATEX LABORATOŘE A PROCES KVALIFIKACE

Výrobci zařízení s A2L a A3 chladivý čelí přísným nárokům na bezpečnost. Musí prokázat těsnost okruhů, elektrickou bezpečnost komponent, účinnou detekci úniku a funkční nouzové odstavení systému. Součástí kvalifikačního procesu je také ověření chování celého zařízení v simulovaných provozních i havarijních podmínkách dle EN 378, IEC 60335 a ATEX.

Danfoss disponuje vlastními ATEX-certifikovanými laboratořemi, největší se nachází v Trévoux ve Francii. Na ploše 3 000 m² disponuje 50 zkušebními stanovišti a 16 oddělenými komorami pokrývajícími výkonnostní, spolehlivostní, akustická i kalorimetrická měření.

Zkušební rozsahy zahrnují 0,5–60 TR (≈1,76–211 kW) pro samostatné kompresory a 0,5–240 TR (≈1,76–844 kW) na okruh u paralelních sestav. Celková kapacita laboratoře je až 1 500 kW chladicího výkonu; zároveň lze pracovat s více než 1 200 kg hořlavého chladiva.

Bezpečnost zajišťují akustické a vizuální alarmy, nouzové odvětrávání, automatické odstavení. Konstrukce laboratoře je rovněž koncipována pro řízené odlehčení výbuchového tlaku pomocí zařízení pro odlehčení výbuchu (explosion-venting devices) ve střešní rovině, v souladu s relevantními normami (NFPA 68, EN 14491/EN 14994).



Obrázek 1. Využití ADC pro měření a optimalizaci OEM jednotky s R290

Důležitou roli hrají také Aplikační a Vývojová centra (Application and Development Centers, ADC) Danfoss v Evropě, Americe i Asii. OEM partneři zde mohou provádět výkonnostní a bezpečnostní testy prototypů, využít simulace reálných podmínek (např. úniku propanu), konzultovat konstrukční opatření s odborníky a získat podklady pro certifikační orgány. Proces kvalifikace výroby zařízení s hořlavými chladivými se typicky pohybuje v rozmezí 6–12 měsíců, v závislosti na složitosti jednotky a požadavcích autorit. Využití ATEX laboratoří a ADC center Danfoss tento proces zefektivňuje a zajišťuje, že zařízení splňují nejen legislativní požadavky, ale i očekávání trhu.

5. ZÁVĚR

Přechod na hořlavá chladiva je nezbytným krokem k dekarbonizaci a naplnění klimatických cílů. Současně však přináší výrazně vyšší požadavky na bezpečnost návrhu, testování a certifikaci. Danfoss nabízí výrobcům podporu v celém procesu – od bezpečně konstruovaných kompresorů a komponent přes technické poradenství až po rozsáhlé testovací kapacity v ATEX laboratořích a ADC centrech. Díky tomu mohou OEM výrobci urychlit kvalifikaci svých zařízení, zkrátit čas uvedení na trh a zajistit jejich plnou shodu s normami i dlouhodobou spolehlivost.

Seznam literatury:

1. EN 378:2016 – Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements.
2. IEC 60335-2-40:2022 – Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers.
3. PED 2014/68/EU – Pressure Equipment Directive.
4. ATEX Directive 2014/34/EU – Equipment for explosive atmospheres.
5. NFPA 68:2018 – Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting.
6. IEC 61800-5-2:2016 – Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-2: Safety requirements – Functional.
7. IEC TS 60034-25:2022 – Rotating electrical machines – Part 25: Guidance for the design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply.
8. Danfoss (2023): *New extension of Danfoss ATEX lab accelerates the use of sustainable refrigerants*. [Online] Dostupné na: danfoss.com
9. Danfoss (2023): *Development and Testing Facilities – Commercial Compressors*. [Online] Dostupné na: danfoss.com
10. Danfoss (2023): *Propane test rig in ATEX laboratory in Trévoux*. [Online] Dostupné na: danfoss.com