

Ing. Miroslav PETRÁK, Ph.D.

Řešení kondenzační strany chladicích zařízení

(Část 3: Kondenzátor odpařovací nebo vzduchem chlazený?)

Solution of Refrigerating Equipment Condensation Side

(Part 3: Evaporative condenser or air cooled condenser?)

Recenzent

prof. Ing. František Drkal, CSc.

V článku jsou zobecněny základní vlastnosti průmyslových chladicích zařízení a je navržen matematický model pro hodnocení jejich funkce v závislosti na požadované vypařovací teplotě a klimatických podmínkách. Pro Prahu, jako referenční místo, je porovnán odpařovací a vzduchem chlazený kondenzátor. U obou variant pro dané provozní podmínky byla stanovena potřeba elektrické energie, chladicí vody (jen u kondenzátoru odpařovacího) a provozní i investiční náklady. Výpočet prokazuje úspory u kondenzátoru chlazeného vzduchem.

Klíčová slova: průmyslové chladicí zařízení, čpavek, kondenzátor odpařovací, vzduchem chlazený kondenzátor

In the article the basic properties of industrial refrigerating installations are generalized and a mathematical model is proposed for their operating evaluation in depending on required temperature of evaporation and climatic conditions. For Prague, as the reference place, evaporative and air cooled condensers are compared. For the given operating conditions the consumptions of electrical energy and cooling water (for only in the case of evaporative condenser) were determined for both variants. The calculation documents savings in for the case of air cooled condenser.

Key words: industrial refrigerating installation, ammonia, evaporative condenser, air cooled condenser

1. ÚVOD

Klimatická data, kterým byly věnovány první dva články, jsou důležitým předpokladem modelování provozu chladicích a klimatizačních zařízení a jeho optimalizace. Jejich využití bude ukázáno na příkladu průmyslového chladicího zařízení (se čpavkem) s celoročním provozem, u něhož bude předmětem zájmu posouzení spotřeby energie zařízení podle použitého druhu kondenzátoru.

Tento článek navazuje na problematiku grantového projektu VaV-11/3/11/04 Ministerstva životního prostředí ČR s názvem „Snížení energetické náročnosti průmyslových chladicích zařízení“.

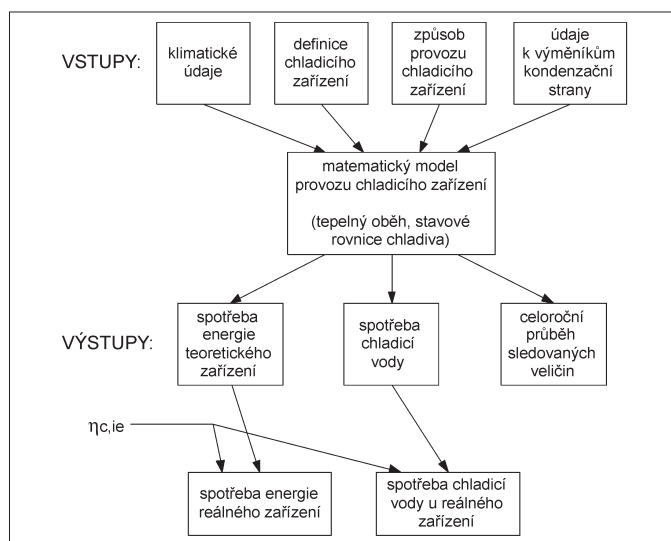
2. VYMEZENÍ PROBLÉMU

U průmyslových chladicích zařízení se v současné době používají především odpařovací kondenzátory, mezi jejichž výhody patří zejména schopnost dosáhnout nízké kondenzační teploty v letních měsících (okolo cca 35 °C) díky přenosu tepla v latentní formě (odparem vody). S klesající teplotou venkovního vzduchu ovšem klesá jeho schopnost pojmát vlhkost, čímž u odpařovacího kondenzátoru postupně narůstá podíl citelné složky, a zvětšuje se tak teplotní rozdíl mezi kondenzační teplotou a teplotou vzduchu, navíc umocněný relativně malou teplosměnnou plochou. Ta současně způsobuje, že suchý provoz kondenzátoru (tj. bez skrápění vodou) je v zimních měsících možný pouze při zlomku návrhového výkonu (cca 25 až 30 %). V opačném případě je nutné zajistit mokrý provoz celoročně, a to buď elektrickým vytápěním vany v zimním období nebo jejím umístěním ve vytápěném prostoru, např. ve strojovně.

Naproti tomu vzduchem chlazené kondenzátory využívající pro přenos pouze citelného tepla vzduchu mají nesrovnatelně větší teplosměnnou plochu, a umožňují tak po většinu roku provoz s daleko nižší kondenzační teplotou a tudíž energeticky úspornější. Dále je zapotřebí zdůraznit, že i samotný letní provoz chladicího zařízení s odpařovacím kondenzátorem nemusí být ve srovnání se vzduchem chlazeným kondenzátorem vždy ekonomicky výhodnější, neboť výhoda nižší spotřeby pohonné energie vlivem nižší kondenzační teploty je znehodnocována spotřebou chladicí vody, která dnes rozhodně není zadarmo.

3. MATEMATICKÝ MODEL

Pro simulaci provozu chladicího zařízení a sledování hospodárnosti obou variant byl v rámci řešení projektu sestaven matematický model podle schématu na obr. 1. Základem jsou stavové rovnice chladiva. V závislosti na vstupních údajích o chladicím zařízení, tj. zejména potřebném chladicím výkonu, způsobu jeho provozu a údajích k výměníkům pro odvod odpadního tepla umožňuje model propočítat chladicí oběh, stanovit hodnoty stavových veličin (tlak, teplota, entalpie, měrný objem) v jednotlivých částech oběhu a provede energetickou bilanci zařízení. Podle zadaných klimatických údajů potom model provede integraci sledovaných hodnot během roku. Matematický model pracuje s teoretickým oběhem, tj. s izentropickou kompresí, přičemž po zadání celkové izentropické účinnosti kompresoru lze získat hodnoty pro reálné chladicí zařízení. U odpařovacích kondenzátorů je rovněž vyčíslena spotřeba chladicí vody.



Obr. 1 Matematický model

3.1 Klimatické údaje

Vstupním klimatickým údajům byly věnovány předchozí části tohoto pojednání [1], [2]. Model je založen na kumulativní četnosti výskytu teplot ven-

kovního vzduchu, které jsou rozděleny do úseků mezi 6. až 14., 14. až 22. a 22. až 6. h odpovídajícím obvyklým pracovním směnám. Tím lze simulovat rozdílný provoz chladicího zařízení v pracovní době s pokrytím požadavků na chlazení výrobní technologie a skladovacích prostor hotových výrobků nebo surovin a v mimopracovní době pouze s chodem skladovacích prostor. Počet pracovních hodin byl získán korekcí zohledňující poměr pracovních dnů k celkovému počtu dnů v roce.

3.2 Chladicí zařízení

Cílem práce bylo získat obecně platné výsledky, proto byly vytyčeny společné rysy zařízení tak, aby výsledky byly jednoduše aplikovatelné na konkrétní zařízení. Pozornost byla věnována pouze čpavku, který je převážným chladivem průmyslových chladicích zařízení. Z hlediska vypařovací teploty a uspořádání oběhu byla sledována zařízení s vypařovacími teplotami -5 až -20 °C v jednostupňovém zapojení a s vypařovací teplotou -35 °C odpovídající mrazírenským provozům v zapojení s ekonomizérem, které dnes často nahrazuje dvoustupňové zapojení.

Teplota odebírané chladicím zařízením chlazené látky není zpravidla během roku konstantní, ale proměnlivá. Jeho jedna část A závisí na teplotě venkovního vzduchu (tepelné zisky stěnami a výměnou vzduchu), druhá B je na teplotě vnějšího vzduchu nezávislá (vnitřní zdroje tepla a technologické teplo). Tato druhá část odváděného tepla je produkována pouze v pracovní době, zatímco část první musí být odváděna trvale, resp. po celou dobu, pokud je vnější teplota vyšší, než je teplota chlazeného prostoru. Jako další prvek charakterizující chladicí zařízení byl proto zaveden bezrozměrný

parametr a vyjadřující podíl zisků nezávislých na teplotě okolí (technologie, vnitřních tepelných zisků) na celkovém nominálním chladicím výkonu při návrhové teplotě (např. vnější teplotě +32 °C), tedy

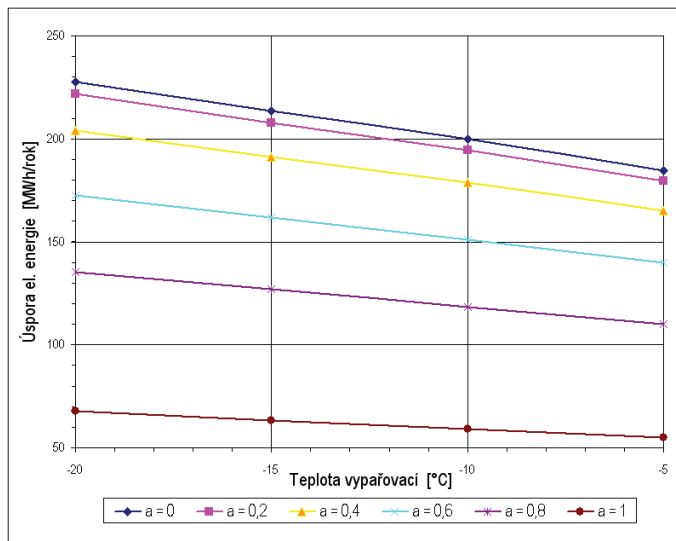
$$a = \frac{B}{A+B} \quad (1)$$

Výsledky jsou stanoveny pro celkový nominální chladicí výkon $(A+B)$ 1 MW s tím, že úměrně mění se složce A se mění i požadavky na chladicí výkon během roku.

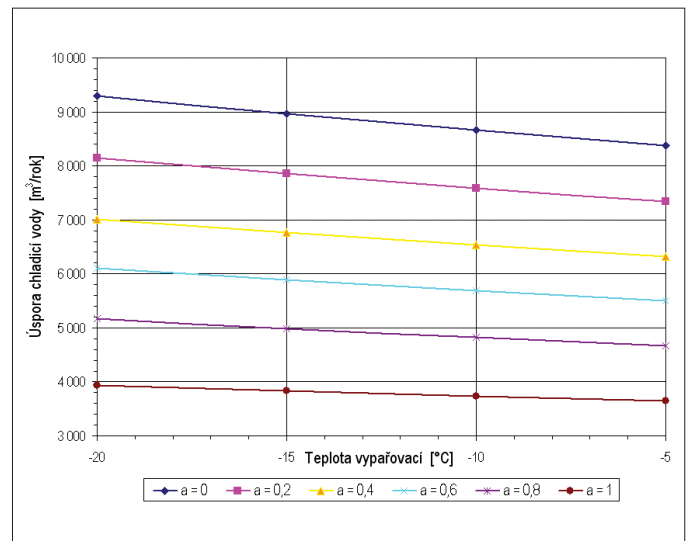
Výsledky tak lze jednoduchým způsobem podle definovaného ukazatele a , vypařovací teploty a nominálního chladicího výkonu (návrhového výkonu v letních měsících) přenést na konkrétní chladicí zařízení.

4. VÝSLEDKY

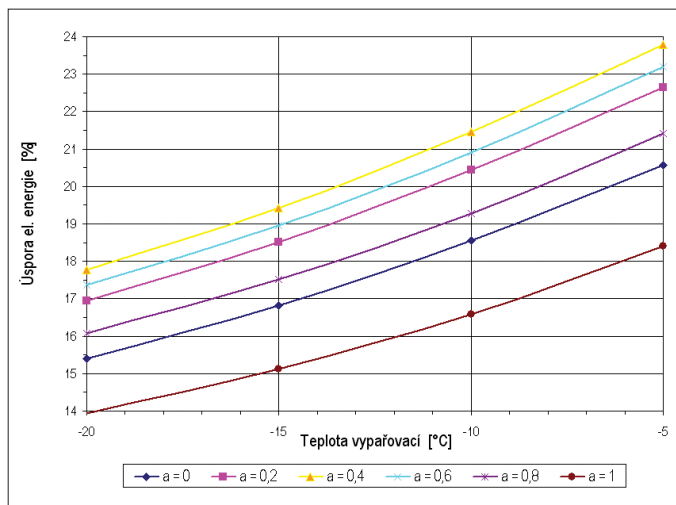
Programem popsaným v předchozím byl sledován modelový provoz chladicího zařízení za klimatických podmínek odpovídajících oblasti s výpočtovou teplotou -12 °C, přesněji Praze. Jako základní byl analyzován obvyklý celoroční provoz chladicího zařízení s odpařovacím kondenzátorem, s nímž je porovnán provoz zařízení s kondenzátorem chlazeným vzduchem s minimální kondenzační teplotou. U vzduchem chlazených kondenzátorů lze vždy optimalizovat víceparametrovou závislost: hlučnost – spotřeba energie – cena kondenzátoru – provozní



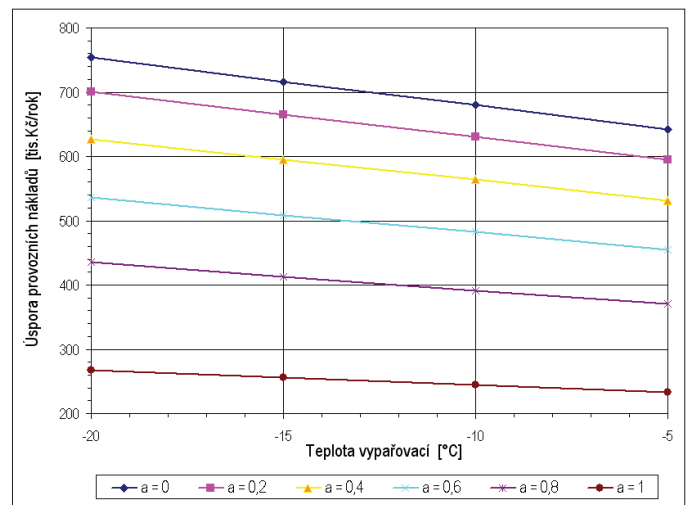
Obr. 2 Úspora elektrické energie v MWh/rok



Obr. 4 Úspora chladicí vody v m³/rok



Obr. 3 Úspora elektrické energie v %



Obr. 5 Úspora provozních nákladů v tis.Kč/rok

náklady za elektrickou energii. V daném případě pro vzájemné porovnání obou typů kondenzátorů byl zvolen takový případ, kdy oba vykazují stejnou energetickou náročnost odvodu kondenzačního tepla, pracuje-li zařízení v návrhovém režimu.

Souhrnný přehled o roční úspoře elektrické energie u reálného chladicího zařízení (uvažována celková izoentropická účinnost kompresoru 0,7) při použití vzduchem chlazeného kondenzátoru je v absolutní hodnotě na obr. 2, v procentním vyjádření na obr. 3. Úspora chladicí vody (nespotřebované vody) vyplývá z obr. 4. Všechny hodnoty patrné z obrázků platí pro jedno- směnný provoz technologie (6. až 14. h) vyžadující chlazení.

Z těchto údajů je zřejmé, že při použití vzduchem chlazeného kondenzátoru a provozu s minimální kondenzační teplotou lze proti dnes běžně projektovanému a provozovanému chladicímu zařízení s odpařovacím kondenzátorem snížit jeho roční spotřebu elektrické energie o cca. 15 až 24 %, a to i přes nárůst spotřeby v letním období vlivem vyšší kondenzační teploty. Absolutní úspory dále rostou se směnností výrobní technologie.

Při dnešní obvyklé ceně elektrické energie v ČR pro průmyslové podniky ve výši 1,80 Kč/kWh a ceně přídatné chladicí vody 37 Kč/m³ (bez stočného, ale s chemickou úpravou), je použití vzduchem chlazeného kondenzátoru provázáno úsporou provozních nákladů, jejíž výše je patrná z obr. 5.

Při porovnání obou režimů provozu je nutné se zabývat též investičními náklady a posoudit na jedné straně cenu vzduchem chlazeného kondenzátoru včetně regulace přívodu chladiva do výparníku, na straně druhé odpařovacího kondenzátoru doplněného systémem řízení odluhu a dávkování chemických přípravků. Z porovnání těchto nákladů pro sledovaný případ (vypařovací teplota -10 °C, nominální chladicí výkon 1 MW a při něm stejná spotřeba energie na odvod kondenzačního tepla, dojde při použití vzduchem chlazeného kondenzátoru k nárůstu pořizovacích nákladů o cca 953 tis. Kč (kurz 31 Kč/€). Ve srovnání s úsporou provozních nákladů (obr. 5) je toto navýšení více než přijatelné, a to tím spíše, že lze očekávat další zvýšení ceny elektrické energie a chladicí vody.

5. ZÁVĚR

Příspěvek si klade za cíl prokázat, že při provozu průmyslových chladicích zařízení lze dosáhnout významného snížení spotřeby energie a chladicí vody. Podmínkou pro dosažení úspor je nejen hospodárný provoz těchto energeticky náročných zařízení, ale zejména již jejich projektové řešení, protože každé průmyslové chladicí zařízení je svým způsobem originálem, u něhož projektant ve spolupráci s investorem významnou měrou ovlivňuje jeho budoucí provozní vlastnosti.

V tomto příspěvku bylo záměrně zvoleno referenční místo s vysokými letními teplotami, které jsou nepříznivé pro chladicí zařízení se vzduchem chlazeným kondenzátorem. Stejně tak provoz technologie byl předpokládán pouze jednosměnný, což vede ve srovnání s vícesměnným provozem k horší návratnosti zvýšených investičních nákladů spojených s použitím vzduchem chlazeného kondenzátoru. Jestliže i za těchto podmínek byla prokázána významná úspora pohonné energie a rychlá návratnost investičních prostředků, při průměrných provozních podmínkách v rámci České republiky budou tyto ukazatele mít ještě příznivější hodnoty.

Mělo by se i u nás stát pravidlem, že chladicí zařízení mohou projektovat, montovat, opravovat a obsluhovat pouze osoby s náležitým vzděláním a vědomostmi (viz ČSN EN 378-1 až -4). Je třeba více než dosud věnovat pozornost řešení projektu a ten posuzovat nejen z hlediska investiční náročnosti, ale i z pohledu následných provozních nákladů a vlivu zařízení na životní prostředí.

Použité zdroje:

- [1] Petrák, J., Petrák, M.: Řešení kondenzační strany chladicích zařízení. (Část 1: Teplota vzduchu). In: *Vytápění, větrání, instalace*. Ročník 14, č. 5/2005, s. 217-219. ISSN 1210-1389.
- [2] Petrák, J., Petrák, M.: Řešení kondenzační strany chladicích zařízení. (Část 2: Referenční klimatické podmínky). In: *Vytápění, větrání, instalace*. Ročník 15, č. 1/2006, s. 31-33. ISSN 1210-1389.
- [3] Petrák, J., Petrák, M.: Snížení energetické náročnosti průmyslových chladicích zařízení. Závěrečná zpráva za rok 2004 k projektu MŽP ČR číslo VaV-11/3/11/04. ■