Prof. Ing. Jiří PETRÁK, CSc.[1]
Ing. Miroslav PETRÁK, Ph.D.[2]
[1] *ČVUT v Praze, fakulta strojní*
[2] *Güntner Tschechien, org. sl. Praha*

Chladicí zařízení pro klimatizaci s akumulací chladu

Refrigeration Plant for Air Conditioning with Ice Storage

Recenzent
Ing. Vladimír Poledna

Článek se zabývá návrhem chladicího zařízení s akumulací a bez akumulace chladu do ledu. Na reálném příkladu jsou porovnána tato dvě možná řešení z hlediska provozního, energetického a ekonomického.
Klíčová slova: *klimatizace, chladicí zařízení, akumulace chladu*

Standard chiller and chiller with ice storage are discussed and energy and economical comparison of both systems is carried out on a real plant.
Key Words: *air conditioning, refrigeration, ice storage*

U chladicích zařízení používaných v klimatizačních systémech je dnes kladen mimořádný důraz na jejich vliv na životní prostředí. Ten se projevuje jednak přímo působením chladiva uniklého ze zařízení netěsnostmi, při poruše, opravách a na konci jeho životnosti při likvidaci, jednak nepřímo prostřednictvím spotřeby pohonné energie.

Omezením přímého působení chladiva na životní prostředí se zabývá Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 842/2006 o některých fluorovaných skleníkových plynech, vydané dne 17. 5. 2006. Vztahuje se na zařízení s náplní chladiva způsobujícího globální oteplování Země a zavádí jejich kontroly na těsnost, vedení záznamů o množství a druhu chladiva, o doplnění či odčerpání chladiva během servisu, identifikaci servisní společnosti nebo technika, údaje o datu kontrol a jejich výsledcích. Současně ukládá provozovatelům zajistit, aby jeho pracovníci měli potřebný certifikát prokazující jejich znalosti technické, platných předpisů a norem.

Omezení nepřímého působení chladiva na životní prostředí řeší Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES ze dne 16. 12. 2002 o energetické náročnosti budov. Ta v článku 9 požaduje „Zavedení pravidelné inspekce klimatizačních systémů se jmenovitým výkonem větším než 12 kW. Tato inspekce musí zahrnovat posouzení účinnosti klimatizace a velikosti zařízení v porovnání s požadavky na chlazení budovy. Uživatelům má být poskytnuto vhodné poradenství o možném zlepšení nebo výměně klimatizačního systému a o alternativních řešeních“.

Tato směrnice je do českého právního řádu implementována zákonem č. 177/2006 Sb. ze dne 29. 3. 2006, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon v § 6, odst. 7 uvádí: „U klimatizačních systémů je vlastník, nebo provozovatel zařízení se jmenovitým chladicím výkonem větším než 12 kW povinen zajistit pravidelnou kontrolu každé 4 roky. Způsob kontroly a vyhodnocení výsledků stanoví prováděcí právní předpis.“ Jako prováděcí předpis slouží vyhláška MPO ČR č. 148/2007 o energetické náročnosti budov ze dne 18. 6. 2007.

Cílem tohoto článku je v obecné rovině a dále na konkrétním příkladu ukázat výhody a nevýhody akumulace chladu do ledu u centrálních klimatizačních zařízení.

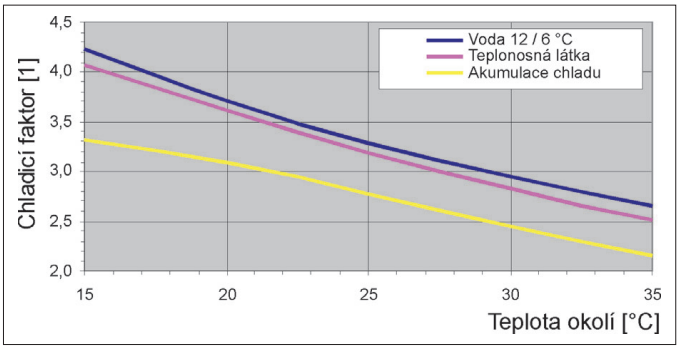
CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ

U centrálních klimatizačních systémů je nejčastěji úkolem chladicího zařízení ochlazovat vodu z 12 na 6 °C. Takto vychlazená voda je zaváděna do vzduchotechnických jednotek, jejichž úkolem je upravovat cirkulační i čerstvý venkovní vzduch na požadovanou teplotu a vlhkost. Vlastní chladicí zařízení může pracovat bez, nebo s akumulací chladu. Pokud není použita akumulace, chlazená voda protéká přímo výparníkem a zařízení musí být dimenzováno na maximální požadovaný chladicí výkon, který zpravidla odpovídá nejvyšší venkovní teplotě vzduchu. Ta se v našich klimatických podmínkách většinou volí 32 až 35 °C.

U akumulace do ledu lze použít jednak klasickou chladicí jednotku pracující v době akumulace se sníženou vypařovací teplotou, jednak řadu speciálních zařízení vyrábějících např. „tekutý“, nebo šupinkový led. Výhodou prvního způsobu řešení je menší pořizovací cena a možnost práce tohoto zařízení v době mimo akumulace s nadnulovými vypařovacími teplotami a tedy s menší energetickou náročností. Proto v dalším bude předpokládán tento způsob řešení, kdy je mezi chladicí zařízení a spotřebič chladu (zde vzduchotechnickou jednotku) vložen akumulační zásobník v takovém zapojení, které umožňuje:

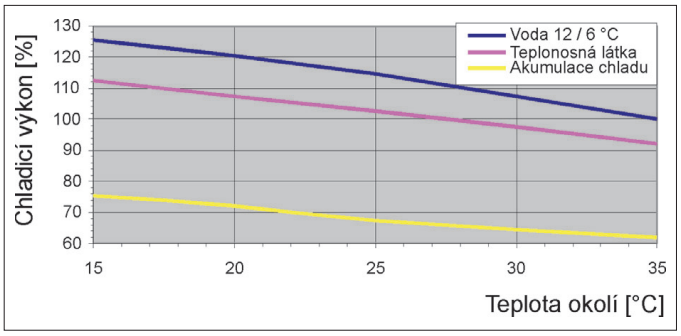
a) Pokrýt veškerý potřebný chladicí výkon pouze provozem chladicího zařízení.
b) Pokrýt potřebný chladicí výkon jak provozem chladicího zařízení, tak i „odběrem chladu“ z akumulačního zásobníku.
c) Vyrábět led v akumulačním zásobníku a současně (je-li to v daný okamžik požadováno), pokrývat též požadavky spotřebiče chladu.
d) Požadavky spotřebiče chladu krýt na úkor akumulačního zásobníku bez provozu chladicího zařízení.

Při provozním režimu uvedeném v bodě a) a b) pracuje chladicí zařízení s nadnulovou vypařovací teplotou, při provozu podle bodu c) s vypařovací teplotou nižší než 0 °C. Pro chladicí zařízení se vzduchem chlazeným kondenzátorem ukazuje obr. 1a vliv řešení chladicího zařízení a teploty okolí na jeho chladicí faktor a obr.1b na chladicí výkon.



Obr.1a Závislost chladicího faktoru na řešení chladicího zařízení a teplotě okolí

Modré čáry představují hodnoty pro chladicí zařízení bez akumulace chladu, kdy ve výparníku je přímo vychlazována voda použitá pro chlazení vzduchu v klimatizačních jednotkách.



Obr.1b Závislost chladicího výkonu na řešení chladicího zařízení a teplotě okolí

Červené a žluté čáry odpovídají chladicímu zařízení s akumulací chladu do ledu. Provozu v režimu bez akumulace chladu odpovídá čára červená a zhoršení parametrů chladicího zařízení proti předchozímu (modrá čára) je způsobeno jednak horšími termodynamickými vlastnostmi teplonosné látky proti vodě (modrá čára), jednak tím, že voda použitá v klimatizačních jednotkách je chlazena nepřímo teplonosnou látkou a tedy chladicí zařízení musí pracovat se sníženou vypařovací teplotou. Při akumulaci chladu do ledu musí chladicí zařízení pracovat s podnulovou vypařovací teplotou, což vede k dalšímu zhoršení jeho energetických parametrů (žlutá čára).

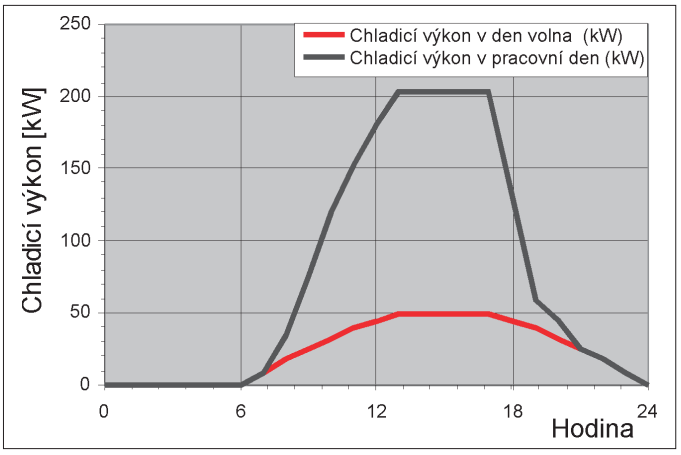
V obr. 1a u chladicího faktoru jsou uvedeny skutečné hodnoty, u chladicího výkonu v obr. 1b hodnoty poměrné u nichž jako 100 % je předpokládáno chlazení vody z 12 na 6 °C při teplotě okolí 35 °C. Při stejné teplotě okolí je provoz chladicího zařízení s akumulací „chladu“ do ledu ve srovnání s chlazením bez akumulace vždy energeticky náročnější, ale přesto má některé výhody.

Výhody chladicího zařízení s akumulací chladu jsou:

- ❑ Instalace chladicího zařízení menšího výkonu. V závislosti na odběrovém diagramu „chladu“ a kapacitě akumulačního zásobníku představuje tak chladicí výkon jednotky často jen 50 až 60 % výkonu, který by muselo mít zařízení bez akumulace chladu.
- ❑ Menšímu chladicímu výkonu odpovídá i menší elektrický příkon a kondenzační výkon vlastního chladicího zařízení. To snižuje jeho pořizovací cenu, hlučnost, hmotnost a prostorové požadavky, a to jak u částí zařízení instalovaných ve strojovně, tak i u zařízení ve volném prostoru (např. kondenzátoru na střeše budovy).
- ❑ Menšímu příkonu odpovídá i menší elektrický jistič, což se mnohdy projeví poklesem stálé složky u platby za elektrickou energii nebo za roční rezervovanou kapacitu (příkon).
- ❑ Menšímu chladicímu výkonu odpovídá i menší chladicí zařízení s menší náplní chladiva.
- ❑ Akumulace chladu umožňuje provozovateli velkou variabilitu provozu. Může např. upravit provozní režim tak, aby co nejlépe využil pásma NT pro odběr elektřiny. Nebo může využít akumulace chladu k několikahodinovému chlazení i na plný výkon bez chodu chladicího zařízení a tak výrazně snížit hladinu hluku ze strojovny chlazení v době mimořádných požadavků, např. při nahrávání ve studiu.
- ❑ Akumulovaný „chlad“ představuje určitou rezervu pro klimatizační zařízení v případě náhlé poruchy na chladicím zařízení.
- ❑ Protože výkyvy ve spotřebě chladu lze kompenzovat na úkor akumulačního zásobníku, vlastní chladicí zařízení nemusí mít složitou regulaci chladicího výkonu (např. frekvenční měnič), může být jednodušší a tedy i levnější.

Nejistotou (a tedy někdy nevýhodou) chladicího zařízení s akumulací chladu je:

- ❑ Někdy vyšší spotřeba elektrické energie. Při akumulaci do ledu pracuje zařízení s nižší vypařovací teplotou, ale s ohledem na provoz v nočních hodinách i s nižší kondenzační teplotou. Lepším využitím pásma NT a snížením stálých měsíčních plateb lze dosáhnout toho, že i případná větší spotřeba elektřiny je doprovázena snížením platby za ni.
- ❑ Zařízení vyžaduje jako další prvek cenově náročný akumulační zásobník. Na jeho ceně pak závisí, zda pořizovací náklady za komplet (menší chladicí zařízení a zásobník) jsou nižší nebo vyšší ve srovnání s chladicím zařízením bez zásobníku.
- ❑ Zapojení okruhu chlazené látky je složitější a vyžaduje znalosti a zkušenosti, které nemá každý, kdo dnes projektuje chladicí zařízení pro klimatizaci.



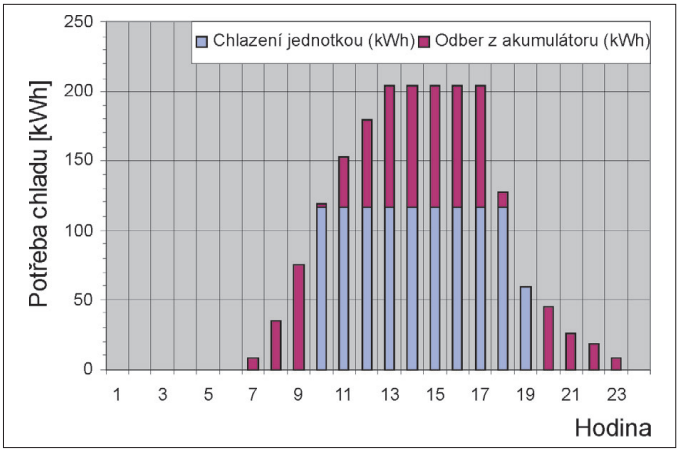
Obr. 2 Požadovaný chladicí výkon

Konkrétní příklad řešení

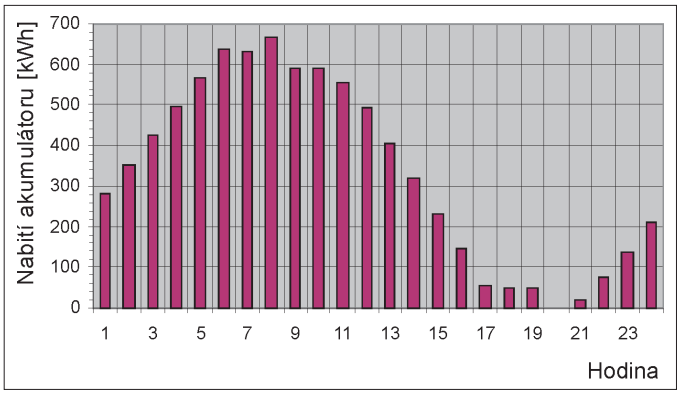
Požadavky na chladicí výkon v pracovní a nepracovní den jsou uvedeny na obr. 2.

Z něho například vyplývá, že maximální požadovaný chladicí výkon je 204 kW a tento výkon musí mít zařízení bez akumulace chladu. U zařízení s akumulací chladu stačí např. zařízení s chladicím výkonem 119 kW a příkonem 44,7 kW (při chlazení vody 12 / 6 °C) doplněné zásobníkem s akumulační kapacitou 670 kWh. Je tedy zřejmé, že plně nabitý zásobník by byl v případě potřeby schopen sám bez provozu chladicího zařízení krýt maximální požadavek na chladicí výkon po dobu cca 3,2 hodiny. Při akumulaci chladu do ledu musí být teplota vypařovací podnulová, což má za následek pokles chladicího výkonu na 74 kW při příkonu 34,3 kW. Použitá chladicí jednotka má dva samostatné okruhy a tedy prostým jejich vypínáním lze měnit skokově její výkon 100 až 50 %. Toho je využito v den pracovního volna, kdy k pokrytí chladicího výkonu stačí chod jednotky na 50 %. Jak jsou kryty v pracovní den požadavky na chladicí výkon ukazuje obrázek 3, změny v nabití akumulátoru jsou uvedeny v obr. 4.

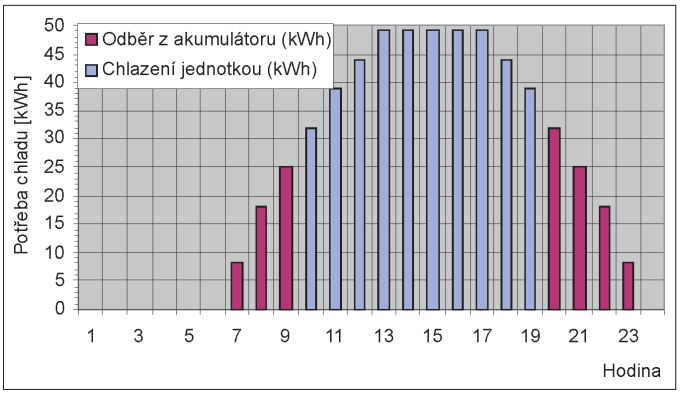
Pokrytí požadavků v den pracovního volna je uvedeno na obr. 5. Z obrázků je též patrné využití akumulace v hodinách s velmi malým požadavkem



Obr. 3 Pokrytí požadované potřeby chladu v pracovní den



Obr. 4 Stav akumulátoru v pracovní den



Obr. 5 Pokrytí požadované potřeby chladu v den volna

na chladicí výkon, kdy regulace výkonu jednotky bez akumulace systémem vypnuto – zapnuto by byla nevhodná, ne-li technicky nemožná.

Pro ekonomické hodnocení byly získány podklady pro stanovení ceny elektrické energie, která se skládá z platby za odebranou silovou elektřinu, z poplatku za roční rezervovanou kapacitu (příkon), příspěvku na OZE a KVET a za zúčtování, systémové služby a použití sítí. Pro sledovaný případ byla stanovena cena elektrické energie na 2,01 Kč/kWh v pásmu vysokého tarifu (VT) a 1,24 Kč/kWh v pásmu nízkého tarifu (NT). Pásmo VT je od 8.00 až 20.00 hodin a to pouze v pracovní den.

Chladicí zařízení má být provozováno v květnu až září a protože z klimatizovaných prostor (nahrávací studia) se odvádí pouze vnitřní tepelná zátěž a potřebný chladicí výkon není ovlivněn vnějšími klimatickými podmínkami, jeho výkonové parametry se mění pouze vlivem měnících se podmínek na kondenzační straně u vzduchem chlazeného kondenzátoru.

Z porovnání chladicího zařízení s akumulací chladu se zařízením bez akumulace vyplývá:

Potřeba chladu

Pro zařízení s a bez akumulace chladu jsou požadavky na chlazení v pásmu NT a VT uvedeny v tab.1.

Tab. 1 Potřeba chladu (kWh/den)

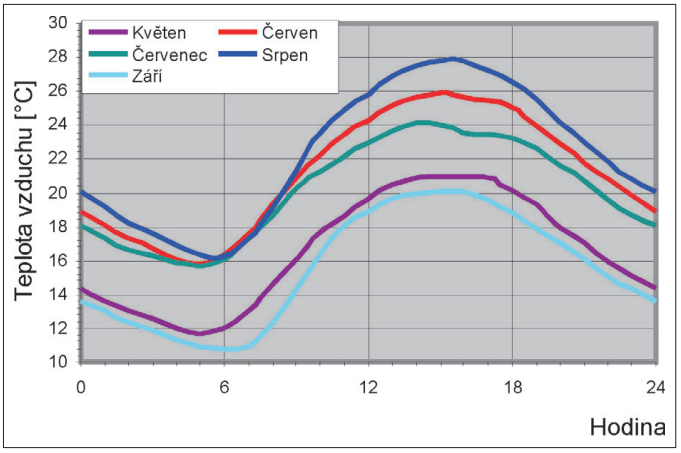
Chladicí zařízení	s akumulací	bez akumulace
Pracovní den, pásmo NT (kWh/den)	759,0	93,5
Pracovní den, pásmo VT (kWh/den)	1 111,5	1 777,0
Den pracovního volna, neděle, svátek (kWh/den)	577,0	577,0

Spotřeba a cena elektrické energie – viz tab. 2.

Tab. 2 Spotřeba (kWh/rok) a cena (Kč/rok) elektrické energie

Chladicí zařízení	s akumulací	bez akumulace
Pásmo NT (kWh/rok)	36 930	13 620
Pásmo VT (kWh/rok)	47 213	70 510
Celkem (kWh/rok)	84 143	84 130
Platba za elektřinu, pásmo NT (Kč/rok)	45 793	16 889
Platba za elektřinu, pásmo VT (Kč/rok)	94 898	141 725
Celková platba za elektřinu (Kč/rok)	**140 691**	**158 614**

Údaje v tab. 2 vyplynuly z modelování chodu chladicího zařízení při němž byl vzat v úvahu průběh teploty vzduchu v Praze v roce 2003 během dne v měsících květen až září (viz obr.6). Protože zařízení s akumulací chladu



Obr. 6 Průměrná hodinová teplota vzduchu v Praze v roce 2003

je provozováno i v nočních hodinách a tedy při nižší teplotě vzduchu, je tato část „chladu" získána při lepším chladicím faktoru. Tím je způsobeno vyrovnání spotřeby elektrické energie u obou typů zařízení.

Pořizovací orientační náklady hlavních komponent – viz tab. 3

Tab. 3 Pořizovací orientační náklady hlavních komponent (tis. Kč)

Chladicí zařízení	s akumulací	bez akumulace
Hlavní komponenty celkem	1 855	1 979
z toho: chladicí jednotka	900	1 800
akumulační zásobník	490	-
výměník tepla voda – teplonosná látka	198	-
čerpadla	267	179

Na rozdíl od výpočtů energetických, cena zařízení se od různých výrobců a dodavatelů může značně lišit. Pro srovnání byl proto použit případ, kdy zhotovitelem (dodávka včetně montáže a uvedení do chodu) byla v obou případech stejná firma (KlimaTeCH Praha, spol. s r.o.). U zahraničních dodávek bylo počítáno s kurzem 28 Kč/€. Na základě tohoto porovnání lze konstatovat, že v obou případech by cena zařízení byla přibližně stejná. Rozdíl v ceně hlavních komponent ve výši 124 tis. Kč by byl kompenzován větší cenou montážního materiálu, náklady na měření a regulaci a montáží u zařízení s akumulací.

ZÁVĚR

Z tohoto srovnání vyplývá, že pro daný konkrétní případ je vhodnější zařízení s akumulačním zásobníkem a to nejen s ohledem na nižší provozní náklady, ale i pro řadu výše uvedených provozních výhod. Tento závěr ne-

lze ale zobecnit, protože rozdíly u investičních a provozních nákladů jsou relativně malé, až zanedbatelné.

Je třeba vzít též v úvahu, že:

- Provozní náklady závisí na ceně elektrické energie a její skladbě, tedy na veličině, u které lze v blízké budoucnosti očekávat řadu změn. Bude to nejen nárůst cen, ale mohlo by dojít v rámci srovnávání cen se západními státy i ke změně poměru ceny elektřiny v pásmu NT a VT.
- Větší rozšíření akumulačních systémů by přispělo k vyrovnávání odběrových diagramů elektřiny a zrovnoměrnění požadavků na zdroje a přenosovou soustavu během dne.
- Z uvedené ceny akumulačního zásobníku cca 25 % představují náklady na dopravu. Při současné dopravě více kusů zásobníků by došlo k výraznému poklesu jejich jednotkové ceny.

Příspěvek si neklade za cíl upřednostnit některý typ chladicího zařízení pro klimatizaci. Chce pouze ukázat na potřebu variantních řešení a to nejen při poskytování poradenství uživatelům (jak to ukládá směrnice 2002/91/ES), ale zejména v rámci projektové činnosti při výstavbě nových, nebo při rekonstrukci stávajících klimatizačních systémů.

Provozovatelé chladicích zařízení musí též respektovat Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 842/2006 ze dne 17. 5. 2006 o některých fluorovaných skleníkových plynech. To jim kromě jiného počínaje 4. 7. 2007 ukládá zajistit kontrolu těsnosti chladicích zařízení certifikovanými pracovníky:

- 1 x ročně při náplni 3 až 30 kg chladiva (6 až 30 kg u hermetického zařízení)
- 1 x za 6 měsíců při náplni 30 až 300 kg
- 1 x za 3 měsíce při náplni nad 300 kg

Při zpracování příspěvku bylo využito poznatků získaných při řešení projektu evidenční číslo SP/3g3/148/07 s názvem „Energetické a evironmentální hodnocení provozu chladicích zařízení a tepelných čerpadel“ podpořeného v roce 2007 Ministerstvem životního prostředí České republiky.

Použité zdroje:

[1] PETRÁK J., PETRÁK M.: Řešení kondenzační strany chladicích zařízení. Časopis Vytápění, větrání, instalace, 2006, číslo 1, strany 31–33.
[2] Technické a cenové podklady firem Euroklimat, Güntner AG & Co. KG, Calmac Manufacturing Corporation a KSB.
[3] Klimatické údaje pro Prahu. Český hydrometeorologický ústav. (Nepublikováno). ■