

# Centrální zásobování teplem s kondenzačními kotli

## Central heat supply with condensation boilers

Ing. Zdeněk LERL

*Cílem příspěvku je upozornit technickou veřejnost na úskalí účelného využití předností kondenzačních kotlů použitých jako zdroj tepla v sítích centrálního zásobování teplem. Jde o ověření výpočtových postupů používaných pro získání podkladů k posouzení výhodnosti vložené investice do technicky dokonalejšího, ale investičně nákladnějšího zařízení.*

**Klíčová slova:** kondenzace spalin, účinnost využití paliva, rosný bod, vytápění

Recenzent

doc. Ing. Karel Brož, CSc.

*The aim of the contribution is to draw the attention of the technical community to the difficulty of the purposeful utilisation of condensation boilers assets used as heat source in central heat supply networks. It concerns the verification of calculation procedures used for data acquisition needed for advantageousness evaluation of investment put in the technically more perfect, however capital- more intensive equipment.*

**Key words:** condensation of combustion products, efficiency of fuel utilisation, dew point, heating

Přednost kondenzačních kotlů spočívá ve vyšší účinnosti využití tepla z paliva oproti kotlům, které nevyužívají teplo ze zkondenzované vlhkosti spalin. Tato výhoda se však uplatní pouze u vhodné otopné soustavy, která umožní, aby došlo ke kondenzaci dostatečným vychlazením spalin teplotou vstupující do kotle. Podmínkou kondenzace vlhkosti ze spalin je vychlazení spalin pod rosny bod, přičemž teplota rosného bodu spalin pro kotle na plynná paliva je závislá na složení spalin tedy použitým palivem a na přebytku spalovacího vzduchu v procesu hoření. Přebytek spalovacího vzduchu se vyjadřuje součinitelem přebytku vzduchu  $\lambda$  (-).

Při použití kondenzačních kotlů v soustavách centrálního zásobování teplem – CZT je nutno nejprve určit průběh dosahovaných teplot otopné vody (nejběžnější teplotonosná látka) ve zpětné větvi před vstupem do kondenzačního kotle. V souhlasu s postupem uvedeným v [1] jsem stanovil průběh a četnost výskytu venkovních teplot v posuzované lokalitě a tyto dále využil podle tohoto postupu k stanovení spotřeb tepla pro vytápění idealizovaného bytu. Protože se výsledky výpočtů výrazně rozcházejí s naměřenými údaji, tvoří první část příspěvku posouzení vhodnosti výpočtového postupu uvedeného v kapitole 2 [1] a druhá část příspěvku tvoří porovnání úspor paliva u kondenzačního kotle v porovnání s nízkoteplotním kotlem. Porovnání je vztaženo k standardnímu bytu, lokalitě Praha a s dvourubkovou soustavou CZT s předávacími stanicemi pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody v jednotlivých domech.

Z vypočtených hodnot pro  $t_{dn} = -12$  °C a  $t_{hn} = 32$  °C je sestavena tabulka (tab. 1) a graf (obr. 1), které umožňují stanovit délku otopného období a výskyt venkovních teplot v tomto období.

Pro kontrolu, jsou-li hodnoty stanovené výrazem (1) hodnověrné, je vytvořen graf (obr. 2) a tabulka (tab. 2) s porovnáním vypočtených teplot a průměrných měsíčních teplot odečtených ze statistických údajů z období 50 let (viz údaje z [1] tab. 1. 3. 2). Přiřazení je definováno tak, že průměrná měsíční teplota je porovnatelná s vypočtenou teplotou  $t_e$  pro prostřední den v měsíci. Jde o předpoklad, že všechny teploty v dané polovině dnů v měsíci jsou menší nebo nejvýše shodné s průměrnou měsíční teplotou a všechny teploty v druhé polovině měsíce jsou vyšší.

Dalším ověřením předpokladem patrným z obr. 2 je, že vypočtený průběh a statisticky ověřený 50letý průměr hodnot venkovních teplot se v přímkové části velmi dobře shodují. Okrajové průběhy výpočtového postupu se od dlouhodobých průměrů značně liší tím, že dlouhodobý průměr měsíčních hodnot vyrovnává výrazně odlišné hodnoty denních průměrů teplot. Kratší hodnotící úseky než den nejsou pro výpočty potřebné, neboť akumulční schopnost většiny staveb snižuje vliv kolísání venkovních teplot na vnitřní mikroklima. Na základě výše uvedených grafů lze odsouhlasit použití výpočtového postupu podle (1).

### PRŮBĚH VENKOVNÍCH TEPLŮT

Ke stanovení průběhu venkovních teplot je použit výraz z [1] v základním tvaru:

$$t_e = t_{ed} + (t_{eh} - t_{ed}) \cdot x - \Delta t_d \cdot e^{-32x} + \Delta t_h \cdot e^{-29(1-x)} \quad (1)$$

|              |   |       |
|--------------|---|-------|
| $t_e$        | venkovní teplota [°C]   |       |
| $t_{ed}$     | průsečík přímkové části průběhu venkovních teplot s pořadnicí $x=0$ | [°C]  |
| $t_{eh}$     | průsečík přímkové části průběhu venkovních teplot s pořadnicí $x=1$ | [°C]  |
| $t_{dn}$     | zimní výpočtová venkovní teplota                                    | [°C]  |
| $t_{hn}$     | letní výpočtová venkovní teplota                                    | [°C]  |
| $\Delta t_d$ | $(t_{ed} - t_{eh})$   | [K]   |
| $\Delta t_h$ | $(t_{hn} - t_{eh})$   | [K]   |
| $x$          | poměrná doba výskytu venkovních teplot $t_e$ a nižších, $x = d/d_r$ | [-]   |
| $d$          | počet dní trvání venkovních teplot $t_e$ a nižších                  | [den] |
| $d_r$        | počet dní v roce  | [den] |

### TEORETICKÝ PRŮBĚH POTŘEBY TEPLA

#### Vytápění

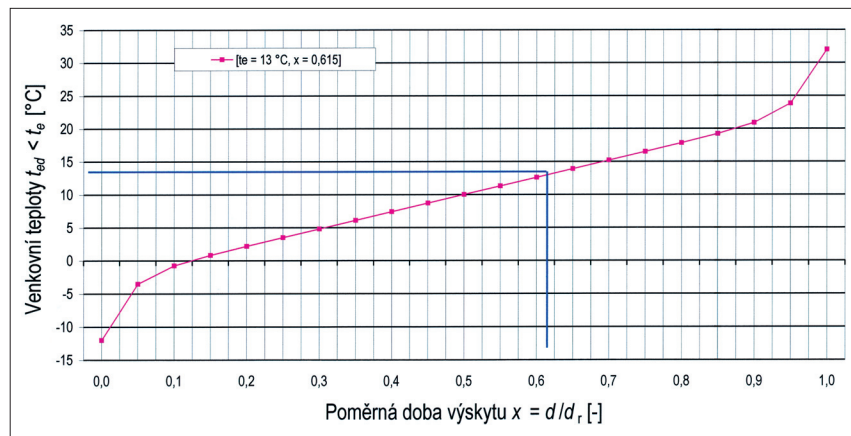
Pro nutné zjednodušení je předpokládáno, že jde o vytápění pouze bytových objektů shodných geometrických a tepelně technických parametrů. U takto idealizovaných objektů je uvažována poměrná tepelná ztráta  $q_c = 0,5 \text{ Wm}^{-3}\text{K}^{-1}$  (celková tepelná charakteristika budovy odpovídá požadavkům ČSN 73 0540-1 až 4).

Při současném zásobování teplem bytových objektů, objektů občanské vybavenosti a výrobních zařízení se specifickými technologickými požadavky je nutné vložit do stanovení teoretického průběhu teplot v otopné soustavě konkrétní požadavky na průběh odběru tepla od nebytových odběratelů.

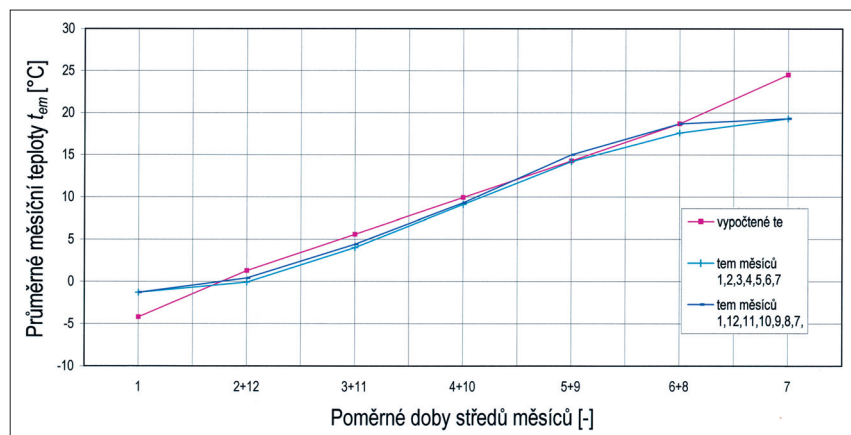
Průběh odběrů tepla a teplé užitkové vody je vztažen k meteorologickým parametrům Prahy se zimní venkovní výpočtovou teplotou  $t_{dn} = -12$  °C a letní venkovní výpočtovou teplotou  $t_{hn} = 32$  °C, s otopným obdobím pro průměrné denní venkovní teploty nižší než 13 °C na průměrný byt obývaný třemi osoba-

Tab. 1 Venkovní teploty  $t_e$  a nižší v závislosti na poměrné době jejich výskytu

|                                       |     |       |       |      |      |      |     |     |      |     |      |      |      |      |      |       |       |      |       |    |
|---------------------------------------|-----|-------|-------|------|------|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|----|
| Poměrná doba trvání $x = d/d_r$ [-]   | 0   | 0,05  | 0,1   | 0,15 | 0,2  | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 0,75 | 0,8   | 0,85  | 0,9  | 0,95  | 1  |
| Venkovní teplota $t_e$ [°C] vypočtená | -12 | -3,52 | -0,77 | 0,83 | 2,19 | 3,5  | 4,8 | 7,4 | 8,7  | 10  | 11,3 | 12,6 | 13,9 | 15,2 | 16,5 | 17,83 | 19,22 | 20,9 | 23,81 | 32 |



Obr. 1 Četnost venkovních teplot



Obr. 2 Porovnání  $t_e$  s  $t_{em}$

Tab. 2 Porovnání průměrných měsíčních teplot  $t_{em}$  vypočtených se statistickými

| Měrná doba trvání $x = d/d_r$ [-] | Vypočtené teploty pro 15. den [°C] | Měsíce v roce jaro - léto | Průměrné teploty v měsíci [°C] | Měsíce v roce podzim - zima | Průměrné teploty v měsíci [°C] |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 0,0425                            | -4,205                             | 1                         | -1,3                           | 1                           | -1,3                           |
| 0,1658                            | 1,266                              | 2                         | -0,1                           | 12                          | 0,4                            |
| 0,3301                            | 5,582                              | 3                         | 4                              | 11                          | 4,4                            |
| 0,4973                            | 9,93                               | 4                         | 9,1                            | 10                          | 9,3                            |
| 0,6644                            | 14,275                             | 5                         | 14,2                           | 9                           | 15                             |
| 0,8315                            | 18,687                             | 6                         | 17,6                           | 8                           | 18,7                           |
| 0,9575                            | 24,519                             | 7                         | 19,3                           | 7                           | 19,3                           |

mi při velikosti obestavěného prostoru  $V_0 = 200 \text{ m}^3$ . Tepelná ztráta tohoto bytu  $Q_a = q_c \cdot (t_i - t_{dn}) \cdot V_0 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot (20 - (-12)) \cdot 200 = 3,2 \text{ kW}$ .

Postupujeme-li podle [1], kapitola 2, je pro zjednodušení výpočtů z výrazu (1) vypuštěna část vyjadřující vliv vysokých letních teplot ( $\Delta t_h \cdot e^{-29(1-x)}$ ), protože

tento člen hodnoty venkovních teplot v době otopného období neovlivňuje. Dále je poměrná doba výskytu  $x = d/d_r$  nahrazena součinem  $x = v \cdot u = d_o/d_r \cdot d/d_o$

kde  $d_o$  – počet dní otopného období [den].

Pro výpočtovou oblast  $t_{dn} = -12 \text{ °C}$  a  $t_{hn} = 32 \text{ °C}$  a hraniční teploty  $t_{ed} = -3 \text{ °C}$ ,  $t_{eh} = 23 \text{ °C}$  je upraven výraz (1) na:

$$t_e = -a + b \cdot v \cdot u - c \cdot e^{-32v \cdot u} \quad [°C] \quad (2)$$

kde  $a = -t_{ed} = 3$   
 $b = (t_{eh} - t_{ed}) = (23 - (-3)) = 26$   
 $c = (t_{hn} - t_{eh}) = (32 - 23) = 9$

Výpočet délky otopného období v tomto matematickém modelu umožňuje zanedbání třetího členu ve výrazu (2). Předpokládáme-li totiž  $d_o =$  asi 200 dní pak pro  $u = 1$ ,  $v = 200/365 = 0,548$  má třetí člen výrazu zanedbatelnou hodnotu  $9 \cdot e^{-32 \cdot v \cdot u} = 2,16 \cdot 10^{-7}$ .

Dosazením do výrazu (2) za počáteční teplotu v otopném období  $t_{eo} = 13 \text{ °C}$ , za poměrnou dobu výskytu teplot v otopném období  $u = 1$  a  $v = d_o/d_r$  je:

$$d_o = d_r \cdot (13+3)/26 = 224,6 \quad [\text{dní}] \quad (3)$$

V tomto matematickém modelu vychází délka otopného období pro  $t_e = 13 \text{ °C}$  asi 224,6 dní na rozdíl od statistického údaje z padesátiletého průměru, který podle [1] tab. 1. 3 pro tutéž výchozí teplotu je udáván 231 dní.

Tento rozdíl, menší než 3 % umožňuje spolehlivé použití výše uvedeného výrazu.

Potřeba tepla za část otopného období se stanoví denostupňovou metodou pro tepelný výkon  $Q_n$  stanovený podle ČSN 06 0210 jako tepelné ztráty vytápěného objektu pro zimní výpočtovou teplotu  $t_{dn}$  pro proměnou  $x$  v intervalu  $(0 - d)$  z výrazu:

$$E = (3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot / (t_i - t_{dn})) \cdot Q_n \cdot \int_0^d (t_i - t_e) \cdot dx \quad [\text{GJ}] \quad (4)$$

kde  $Q_n$  – vypočtené tepelné ztráty pro standardní byt 3,2 kW  
 $t_i$  – teplota vnitřního vzduchu obvykle 20 °C  
 $t_e$  – teplota vnitřního vzduchu v intervalu  $(0 - d)$  vyjádřená výrazem

Po dosazení konstant pro Prahu:

$$E = 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 3,2 \cdot \int_0^d (20 - (-3 + 0,0712 \cdot x - 9 \cdot e^{-0,0877 \cdot x})) \cdot dx \quad [\text{GJ}] \quad (5)$$

Po integraci:

$$E = 8,64 \cdot 10^{-3} \cdot [20x + 3x - 0,0356x^2 - 102,6 \cdot e^{-0,0877 \cdot x}]_0^d \quad [\text{GJ}]$$

Po dosazení:

$$E = 8,64 \cdot 10^{-3} \cdot (23d - 0,0356 d^2 - 102,6 \cdot (e^{-0,0877 \cdot d} - 1)) \quad [\text{GJ}] \quad (6)$$

Dosadíme-li  $d = 224,6$  dní, výpočtový počet dní celého otopného období, pak potřeba tepla pro výše definovaný byt činí 30 GJ, což velmi dobře odpovídá reálným naměřeným hodnotám.

## OHŘEV TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY

Výpočtový postup průběhu potřeby tepla pro ohřev teplé užitkové vody (TUV), který je použitelný pro určení průběhu teplot vratné vody z dvourubkového sídlištního rozvodu CZT, je komplikovaný jednak denním kolísáním odběru TUV a jednak vlivem tepelných ztrát v přírodním a cirkulačním potrubí TUV, které ovlivňují spotřebu tepla denně 24 nebo 19 hodin.

Pro stanovení spotřeby tepla pro ohřev TUV platí v současné době dva předpisy ČSN 06 0320 „Ohřívání užitkové vody – Navrhování a projektování“ a vyhláška č. 152/2001 Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé užitkové vody.

Ve zmíněné ČSN je definována potřeba tepla pro ohřev TUV pro jednu osobu dvěma složkami. První složka  $E_{21}$  odpovídá potřebě tepla pro ohřátí vody z 10 na 55 °C a činí 0,189 GJ/m<sup>3</sup> TUV (4,3 kWh/ 82 litrů TUV pro 1 osobu). Druhá složka  $E_{22} = E_{21}$ , z odpovídá tepelným ztrátám při ohřevu, rozvodu a cirkulaci TUV před jejím užitím spotřebitelem a je závislá na volbě hodnoty  $z$ , která vyjadřuje poměr ztrát tepla k teplu nezbytnému pro ohřátí TUV. V příloze A je pro informativní výpočet uvedena hodnota  $z = 1$ , což znamená, že na ohřev TUV a krytí ztrát je potřeba 0,378 GJ/m<sup>3</sup> TUV.

Naproti tomu ve vyhlášce č. 152/2001, § 5, odst. 1 písmeno b jsou stanoveny limity 0,3 GJ/m<sup>3</sup> pro ohřev TUV umístěný v zásobované budově a 0,35 GJ/m<sup>3</sup> pro ohřev TUV umístěný mimo zásobovanou budovu. Z hlediska ČSN jde o hodnoty  $z = 0,59$  a  $z = 0,85$ . Jde hodnoty, kterým bez problémů vyhoví pouze nově instalovaná zařízení.

Model odběru tepla v průběhu dne je vytvořen na základě údajů použitých v ČSN 06 0320 pro tři osoby v bytě, pouze vyjádření ztrát tepla  $z = 0,85$  odpovídá vyhlášce č. 152/2001 pro ohřev TUV umístěný mimo budovu odběru. Je předpokládáno přerušení provozu cirkulačních čerpadel ve sledovaném objektu v období mezi 24:00 a 5:00 hodinou.

Průběh odběru tepla během průměrného dne, úměrné průtoky topné vody a teploty topné vody stanovené směšovací rovnicí jsou děleny na tři časové úseky:

- od 5:00 do 17:00 hodin 35 % = 3 · 4,3 · 0,35 = 4,50 kWh/byt.  
Tato spotřeba tepla bude dělena do dvou úseků  
od 5:00 do 8:00 hodin 2,10 kWh, po dobu 3 hodin → 0,7 kW/byt  
30 kg/h (55 °C), 58 kg/h (67 °C),  $t_z = 63$  °C;  
od 11:00 do 13:00 hodin 2,40 kWh, po dobu 2 hodin → 1,2 kW/byt  
52 kg/h (55 °C), 58 kg/h (67 °C),  $t_z = 61$  °C;
- od 17:00 do 20:00 hodin 50 % = 3 · 4,3 · 0,50 = 6,45 kWh/byt  
po dobu 3 hodin → 2,15 kW/byt  
92 kg/h (55 °C), 58 kg/h (67 °C),  $t_z = 60$  °C;
- od 20:00 do 24:00 hodin 15 % = 3 · 4,3 · 0,15 = 1,95 kWh/byt.  
Tato spotřeba tepla bude dělena do dvou úseků  
od 20:00 do 23:00 hodin 1,5 kWh, po dobu 3 hodin → 0,5 kW/byt,  
21 kg/h (55 °C), 58 kg/h (67 °C),  $t_z = 64$  °C  
od 23:00 do 24:00 hodin tj. po dobu 1 hodiny → 0,45 kW/byt,  
19 kg/h (55 °C), 58 kg/h (67 °C),  $t_z = 64$  °C.

Krytí tepelných ztrát rozvodu TUV v době chodu cirkulačního čerpadla lze vyjádřit:

- pro ztráty tepla v bytovém objektu zásobovaném TUV:  
**od 5:00 do 24:00 hodin**  $(0,59 \cdot 12,9 + 0,26 \cdot 19 \cdot 12,9/24) = 10,3$  kWh/byt,  
po dobu 19 hodin → 0,54 kW/byt → 58 kg/h, (67 °C);
- pro ztráty tepla v sídlištním rozvodu CZT zásobujícím místní ohřevy TUV:  
**od 24:00 do 5:00 hodin**  $0,26 \cdot 5 \cdot 12,9/24 = 0,7$  kWh/byt,  
po dobu 5 hodin → 0,14 kW/byt → 40 kg/h, (72 °C).

Výše uvedeným souborem údajů jsou získány všechny základní údaje pro vytvoření modelu průběhu dodávky tepla ze zdroje tepla soustavy CZT v denních průměrných hodnotách pro ohřev TUV. V letním období musí být zajištěna minimální cirkulace topné vody v sídlištním rozvodu i v době, kdy nedochází k odběrům tepla v předávacích stanicích. V praxi bylo ověřeno průměrné ochlazení topné vody v tomto případě 3 K. V běžných sídlištních objektech dochází k ochlazení asi 5 K. Z modelu je zřejmé, že mimo otopné období nedochází k využití schopností kondenzačních kotlů.

## VYTÁPĚNÍ V PRŮBĚHU OTOPNÉHO OBDOBÍ

Průběh teplot přírodní topné vody pro vytápění sleduje závislost na venkovní teplotě pouze v jednom úseku otopného období  $t_e = (-12 \div -5$  °C), →  $t_p = (90 \div 75$  °C) v úseku otopného období  $t_e = (-5 \div 13$  °C) a ve zbývající části roku je teplota topné vody v potřebné výši pro ohřev TUV  $t_p = 75$  °C.

Teplota vratné vody z otopné části soustavy sleduje v celém otopném období průběh venkovních teplot. V teplovodní soustavě 90/70 °C je teplota vratné vody při venkovní teplotě  $-12$  °C  $t_z = 70$  °C a při venkovní teplotě  $+13$  °C  $t_z = 31$  °C. Odpovídající průtok vztažený na standardní byt s výpočtovou ztrátou 3,2 kW je 138 kg/h.

Po směšování vratné vody z vytápění  $t_z = 31$  °C s proměnou vratnou vodou z ohřevu TUV v rozmezí  $t_z = 60 \div 64$  °C v závislosti na příslušných průtocích vrací se topná voda do zdroje o teplotě v rozmezí  $40 \div 47$  °C. V ideálním případě spalování bez přebytku vzduchu  $\lambda = 1$  je teplota rosného bodu 58 °C. Položíme-li tuto hodnotu jako nejvyšší možnou teplotu vratné vody, pak nejvyšší teplotou vratné vody od otopné soustavy je 55 °C.

Příslušná venkovní teplota pro tuto hodnotu a vyšetřovanou otopnou soustavu 90/70 °C je 2,4 °C. To odpovídá poměrní době výskytu  $x = d/d_i = 0,2$  ( $d = 73$  dnů). Teplota na konci topného období  $+13$  °C odpovídá  $x = 0,615$  ( $d = 224,4$  dnů - Příslušnou spotřebu tepla pro část otopného období  $(13 \div 2,4$  °C) stanovíme použitím výrazu (5) po integraci od  $d/d_i = 0,2$  do  $d/d_i = 0,615$ :

Po dosazení:

$$E = 8,64 \cdot 10^{-3} \cdot [23x - 0,0356 x^2 - 102,6 \cdot (e^{-0,0877 \cdot x})]_{0,2}^{0,615} = 16,2 \quad [\text{GJ}]$$

Příslušná část ohřevu TUV činí 7 GJ, celkem 23,2 GJ a teoreticky dosažitelná úspora kondenzací spalin činí 10 %, tedy 2,3 GJ. Zbývající část roční spotřeby tepla pro vytápění činí 13,8 GJ a pro ohřev TUV 10 GJ, celkem 23,8 GJ.

Teoreticky dosažitelná úspora tepla kondenzačním kotlem oproti nízkoteplotní konstrukci při dodržení všech teoretických možností jako je spalování zemního plynu bez přebytku vzduchu a podobně u soustavy CZT 90/70 °C činí maximálně 5 %.

V praktickém provozu je tato úspora nedosažitelná.

### Použité zdroje:

[1] *Topenářská příručka*, Kolektiv autorů GAS s. r. o. Praha 2001. ■