



## PROCESS ANALYSIS OF STEAM TANK FOR VAPORING OF WOOD BARS

Jiri HLOUSEK, Martina MAZANKOVA\*

*Summary: The steam tank is used for the preparation of the wood bars in furniture industry. The hot and wet wood bars are bent easy to get a shape of a part of a various furniture products. In the next technological process these bent rods parts are used for final production such as tables chairs an so on.*

### 1. DĚJE PROBÍHAJÍCÍ V PAŘÍCÍ VANĚ V PRŮBĚHU PAŘENÍ DŘEVA

Pařicí vana je název zařízení, které používá nábytkářský výrobní podnik TON, s.r.o. Bystřice pod Hostýnem. Zařízení slouží k napařování dřevěných tyčí nízkotlakou sytou vodní párou o počátečním tlaku 1,4 MPa. Dřevěné tyče jsou naskládány do pařicí kádě a v průběhu cca 1 hodiny dojde k prohřátí a napaření dřeva. Takto připravené tyče ztrácí napařením pevnost v ohybu, takže v následném technologickém procesu se snadno ohýbají na požadovaný tvar např. stolů, židlí apod. Technologie napařování se používá již od počátku 20. století. Pařicí vana je hlavní částí celého zařízení, kde kromě vany je přívodní potrubí páry s uzavěry, odpadní potrubí s uzavěry a s vodní nádrží, do níž pára z vany vytéká. Pařicí vana je znázorněna na obr.1 a celé zařízení na obr. 2 a 3.

### 2. TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ

Na obr.1 je pařicí vana a její hlavní rozměry. Přední víko je opatřeno rukojetí k ručnímu otevírání. Otevření předního víka (po uzavření hlavního přívodu páry) probíhá tak, že současně s otevřením víka se otevře výfuk páry do atmosféry. Materiál pláště a vík je hliníková slitina silumin (Al-Si), tloušťka stěn je cca 25 mm. Před začátkem procesu napařování se do vany napouští voda do vyznačené úrovně. Mezi víkem a blokem dřevěných tyčí je mezera  $a = 270$  mm. Nádoba je obdélníková v příčném řezu a má vnitřní rozměry 0,4x0,5 m.

### 3. ZÁLKADNÍ ÚVAHA O HMOTNOSTNÍ A ENERGETICKÉ BILANCI

Vycházíme ze zadaných parametrů:

Parametry vstupující páry  
(syta pára)

$p_i = 0,14$  MPa  
 $t_i = 109,32$  °C

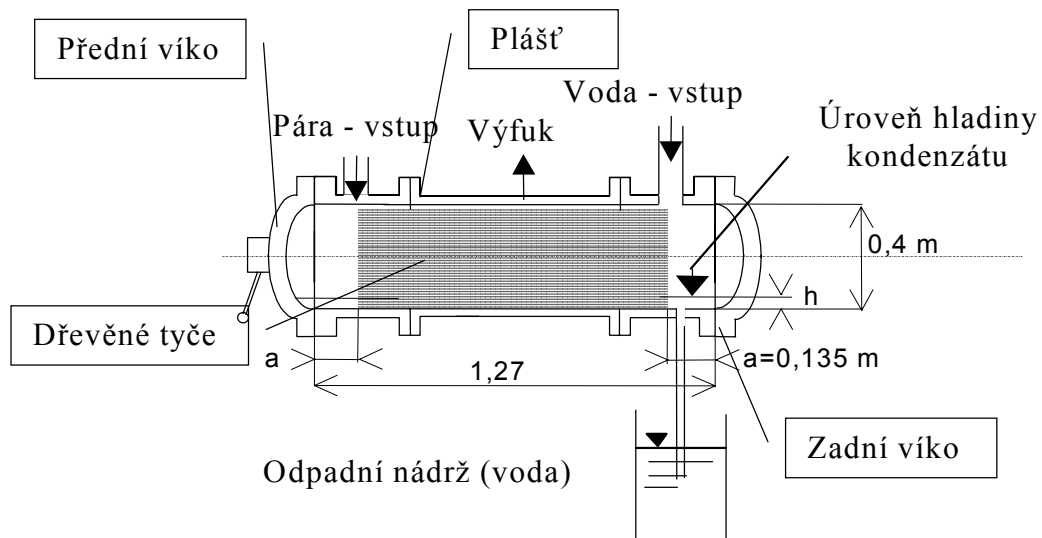
---

\* Prof. Ing. Jiří Hloušek, DrSc, Videňská 46, 639 00 Brno, E-mail: hlousek.@sky.cz  
Martina Mazánková, Ph.D., Military Academy of Brno, Kounicova 65, 612 00 Brno, E-mail:  
Martina.Mazankova@vabo.cz

$i_i = 2690,28 \text{ kJkg}^{-1}$   
 $v_i = 1,230 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$   
 $w_i$  rychlost - je výpočtovou neznámou

Parametry vytékajícího média

$p_e$  tlak - je výpočtovou neznámou  
 $t_e$  teplota - je výpočtovou neznámou  
 $i_e$  entalpie - je výpočtovou neznámou  
 $v_e$  měrný objem - je výpočtovou neznámou  
 $w_e$  rychlost - je výpočtovou neznámou



Obr.1 Pařicí vana na dřevo

### Energetická a hmotnostní bilance

Podle 1.zákona termomechaniky pro tzv. otevřenou termomechanickou soustavu platí energetická bilance

$$\sum dQ + dm_i \left( i_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right) = dm_e \left( i_e + \frac{w_e^2}{2} + gz_e \right) + d \left( U + \frac{mw^2}{2} + mgz \right)_{\text{soust}}$$

kde  $\sum dQ = d(Q_p + Q_v)_{\text{soust}}$  je součet tepelných ztrát soustavy do okolí

$d \left( \frac{mw^2}{2} \right)_{\text{soust}} = 0$  je změna kinetické energie soustavy (soustava se nepohybuje)

$d(mgz)_{\text{soust}} = 0$  je změna polohové energie soustavy (soustava nemění polohu)

### Hmotnostní bilance soustavy

$$dm_i = dm_{\text{soust}} + dm_e$$

Z energetické a hmotnostní bilance sestavíme výpočtovou rovnici tj. matematický model úlohy

$$\frac{dI_i}{dt} - \frac{dI_e}{dt} + \frac{dE_{ki}}{dt} - \frac{dE_{ke}}{dt} = \frac{dU_{soust}}{dt} + \dot{Q}_p + \dot{Q}_v \quad \text{resp.} \quad \dot{m}_i = \dot{m}_{soust} + \dot{m}_e$$

Všechny členy energetické bilance mají rozměr [W] a členy hmotnostní bilance [kg·s<sup>-1</sup>]. Při ustáleném stavu je změna vnitřní energie soustavy nulová, rovnice se zjednoduší do tvaru

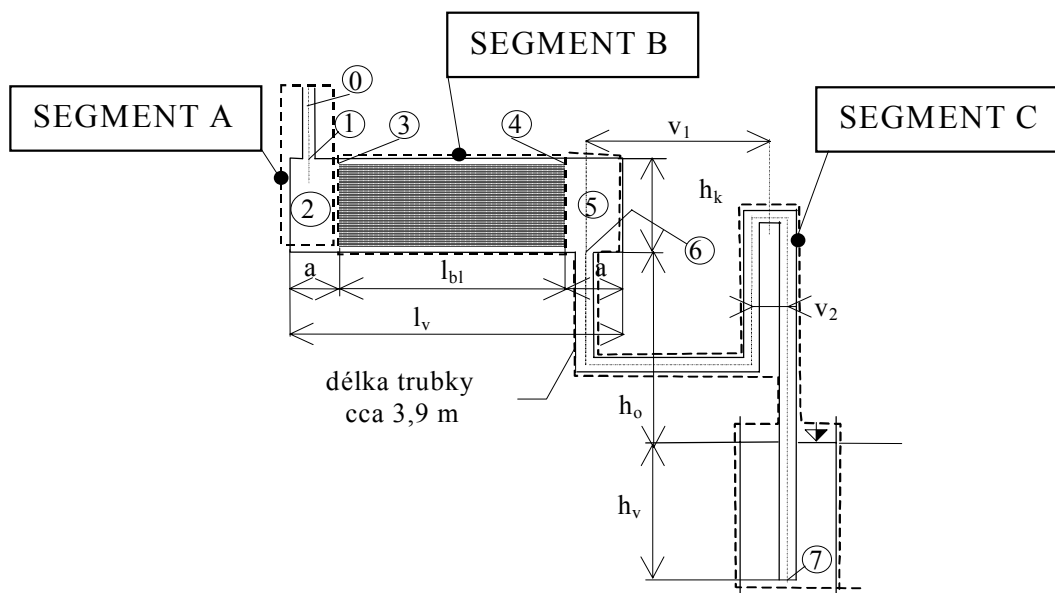
$$\frac{dI_i}{dt} - \frac{dI_e}{dt} + \frac{dE_{ki}}{dt} - \frac{dE_{ke}}{dt} = \dot{Q}_p + \dot{Q}_v$$

Z výpočtu teplotního pole stěn pláště a vík se zjistilo, že tepelné ztráty do okolí jsou velmi malé ve srovnání se změnami entalpií a kinetických energií. Rovnice ustáleného stavu v jednoduchém tvaru je

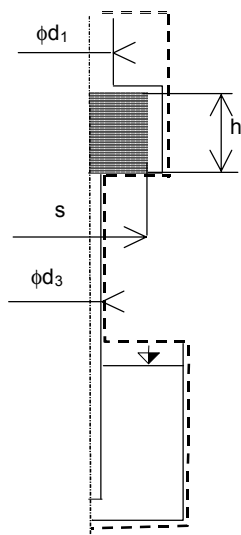
$$\frac{dI_i}{dt} - \frac{dI_e}{dt} + \frac{dE_{ki}}{dt} - \frac{dE_{ke}}{dt} = 0$$

#### 4. PRACOVNÍ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ

Pracovní schéma celého zařízení je na obr. 2. Zařízení je rozděleno do tří segmentů tj. segment A je vstupní část s přívodem páry z hlavního rozvodu páry, segment B je pařící vana a segment C je výtok páry do odpadní nádrže.



Obr.2 Pracovní schéma zařízení v podélném řezu



SEGMENT A - hlavní rozvodné potrubí páry a prostor pařící kádě před blokem dřeva  
 SEGMENT B - pařící kád' v úrovni dřeva  
 SEGMENT C - odpadní potrubí

Stav označující

- 0 - bod uvnitř hlavního rozvodného potrubí páry
- 1 - trojcestný ventil
- 2 - prostor uvnitř pařící kádě před dřevem
- 3 - průřez pařící kádě na začátku dřeva
- 4 - průřez pařící kádě na konci dřeva
- 5 - prostor uvnitř pařící kádě za dřevem
- 6 - odpadní potrubí
- 7 - výstup z odpadního potrubí

Rozměry

$\phi d_1 = 36 \text{ mm}$

$\phi \Phi d_3 = 16 \text{ mm}$

$a$  [m] podle délky dřevěných tyčí (při výpočtech se uvažovalo 0,135 m)

$h$  [m] výška bloku dřevěných tyčí

$s$  [m] šířka bloku dřevěných tyčí

pozn. plocha  $h \cdot s$  se volila 95% celkové plochy kádě

$h_v = 1,6 \text{ m}$

$l_{bl} = 1 \text{ m}$

$l_v = 1,27 \text{ m}$

$v_1 = 0,7 \text{ m}$

$v_2 \approx 0,16 \text{ m}$

Obr.3 Pracovní schéma zařízení v příčném řezu

Technologický proces paření sledujme od vstupního parního potrubí (označeno 0) o průměru  $d_1$ , kterým přitéká pára z hlavního parního řadu.

SEGMENT A.

Bod 0 je v hlavním rozvodném potrubí páry (syťá pára s nulovou rychlostí). V řezu 1 dochází k expanzi páry na nižší tlak. To je doprovázeno růstem rychlosti na hodnotu  $w_1$ . V zvětšeném objemu 2 dochází k otočení proudu páry, vtékající do mezery mezi blokem dřevěných tyčí a pláštěm kádě. Délka bloku dřevěných tyčí je označena  $l_{bl}$ , délka celé kádě je  $l_v$ . Rychlost a stav páry před vtokem do mezery mezi pláštěm a blokem dřeva je označena jako stav 2. Prostor označený 2 lze chápat jako konečnou část segmentu A nebo počáteční část segmentu B. Segmenty A a B se v prostoru 2 překrývají.

SEGMENT B.

Ze segmentu A vtéká pára do segmentu B rychlostí  $w_2$ . Na vstupu do mezery opět dochází k expanzi a poklesu tlaku páry. Rychlost těsně za vstupem do mezery je označena  $w_3$ . Při dalším průtoku páry mezerou dochází k trvalé tlakové ztrátě v důsledku tření proudící páry

o stěny dřevěného bloku tyčí a stěn pláště. Na výstupu v bodě 4, za výtakovým průřezem, dochází ke změně rychlosti  $w_4$  na  $w_5$ . Rychlost  $w_4$  je výstupní rychlost ze segmentu B a má směr horizontální. Rychlost  $w_5$  je vstupní rychlost do segmentu C a má směr vertikální. Prostor označený jako 5 možno chápat jako výstupní část segmentu B nebo vstupní část segmentu C. Segmenty B a C se v prostoru 5 překrývají.

## SEGMENT C.

Vstupní rychlost  $w_5$  se ve výstupním hrdle mění na  $w_6$ . Na vstupu dochází k trvalé tlakové ztrátě, způsobené ostrými hranami vstupního hrdla a mřížkou umístěnou ve vstupním průřezu do odpadního potrubí. Stav 6 se v důsledku tření proudu páry v měděné trubce mění na stav 7. Změnu stavu páry mezi 6 a 7 ovlivňují 4 devadesátistupňová kolena, která jsou do výpočtu zahrnuta jako vřazené odpory. Výškové údaje potřebné pro výpočet jsou na obr.1 znázorněny jako  $h_k$  tj. výška pařící kádě,  $h_o$  tj. výška dna kádě nad hladinou v odpadní nádrži a  $h_v$  tj. výška hladiny nad výstupním otvorem odpadní trubky. Vytékající pára o rychlosti  $w_7$  musí překonávat tlak sloupce vody  $h_v$ . Atmosférický tlak vně zařízení je  $p_a = 0,1$  MPa. Teplota atmosférického vzduchu je  $t_a = 20^\circ\text{C}$ .

Vstupní data pro jednotlivé segmenty jsou uváděna ve výpise výsledků výpočtů.

## 5. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PARÍCI VANY S BLOKEM DŘEVĚNÝCH TYČÍ

Délka bloku je 1 m, mezera mezi blokem a pláštěm odpovídá 5% plochy celkové (viz plocha označená jako plo3 v odstavci vstupní parametry SEGMENTU B). Místní součinitele tlakových ztrát jsou označeny  $x_{is}$  a jsou očíslovány shodně s obr.1. Odstavce, označené číslem doplněným písmenem a tj. 2a, 4a, 7a odpovídají adiabatickým dějům bez třecích ztrát, odstavce 2, 4, 7 odpovídají adiabatickým dějům se třením (reálné děje). Měrný objem je označen  $v_{po}$  až  $v_{p7}$ . Ukázka výpisu z počítače:

```
15. 7.2000    14 h  1 min31 s
  Vstupni parametry SEGMENTU A :
d1[mm]=      36.0
prut.plocha plo1[m^2]=  .0010
xis1[1]=  1.0000
to[stC]=   109.3
po[MPa]=   .1400
vpo[m^3/kg]  1.240
eo[kJ/kg]=   2690.4
so[kJ/kg/K]=   7.2459
```

Vstupni parametry SEGMENTU B:

Vstupni parametry SEGMENTU C:

VYPOCET SEGMENT A

Konecny stav v bode 1a :

t1[stC]= 109.2  
p1[MPa]= .139100  
vp1a[m^3/kg]= 1.247  
e1a[kJ/kg]= 2689.1  
s1a[kJ/kg/K]= 7.24592  
x1a= .99965 w1a[m/s]= 49.20  
Teplo premen.na kin.energii.[kJ]= 1.21021

Konecny stav v bode 1:

t1[stC]= 109.2  
p1[MPa]= .139100  
vp1[m^3/kg]= 1.247  
e1[kJ/kg]= 2689.8  
s1[kJ/kg/K]= 7.24733  
x1= .99989  
w1[m/s]= 33.50  
hm.tok hmt1[kg/s]= .27343E-01  
Tep.tok premen.na kin.energii.[kW]= .153473E-01  
Tep.tok ztratovy.[kW]= .177439E-01  
tlak.ztrata[MPa] = .450000E-03

#### VYPOCET SEGMENT B

Konecny stav v bode 4a :

Konecny stav v bode 4:

#### VYPOCET SEGMENT C

Konecny stav v bode 7a :

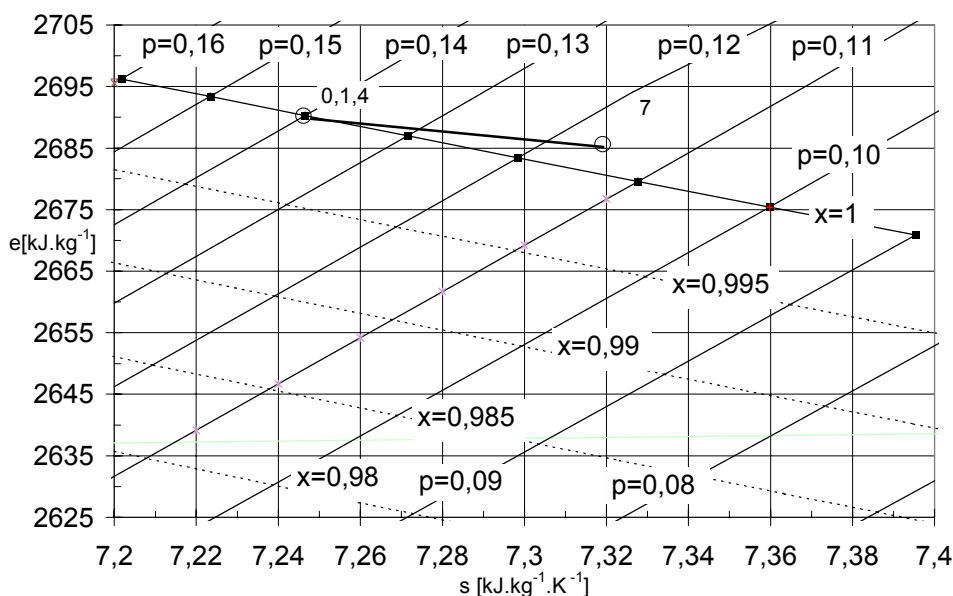
t7[stC]= 103.7  
p7[MPa]= .115044  
vp7a[m^3/kg]= 1.467  
e7a[kJ/kg]= 2653.1  
s7a[kJ/kg/K]= 7.24797  
x7= .98935 w7a[m/s]= 270.79  
Teplo premen.na kin.energii.[kJ]= 36.6648

Konecny stav v bode 7:

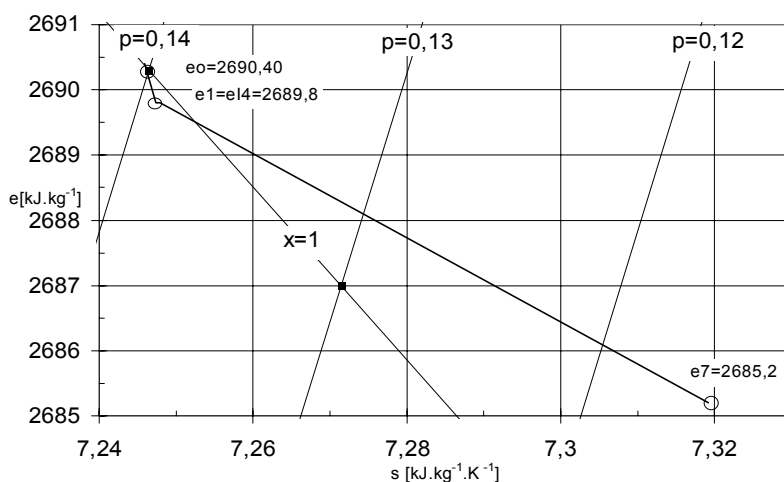
t7[stC]= 103.7  
p7[MPa]= .115044  
vp7[m^3/kg]= 1.485  
e7[kJ/kg]= 2685.2

$s_7[\text{kJ/kg/K}] = 7.31920$   
 $w_7[\text{m/s}] = 96.28$   
 $hm.tok\ hmt_7[\text{kg/s}] = .28744\text{E-}01$   
 $Tep.tok\ premen.na\ kin.energiu.[\text{kW}] = .133227$   
 $Tep.tok\ ztratovy.[\text{kW}] = .920655$   
 $tlak.ztrata[\text{MPa}] = .312156\text{E-}02$

V tisku z počítačové tiskárny jsou některé méně zajímavé části pro stručnost vypuštěny. Na obr.4 jsou stavy páry v charakteristických bodech zařízení. Body 1 až 4 jsou blízko sebe, přibližně na mezi sytosti ( $x=1$ ). Bod 7 značí stav páry po adiabatické expanzi ve výstupní trubce. Je to adiabata se třením, takže po expanzi se pára dostává na stav páry přehřáté o nižším tlaku. Bod 7 leží nad izobarou 0,1 MPa (atmosférický tlak). Přetlak 0,115-0,1 MPa odpovídá tlaku vodního sloupce v odpadní nádrži. Z obou obrázků plynou následující důležité závěry:

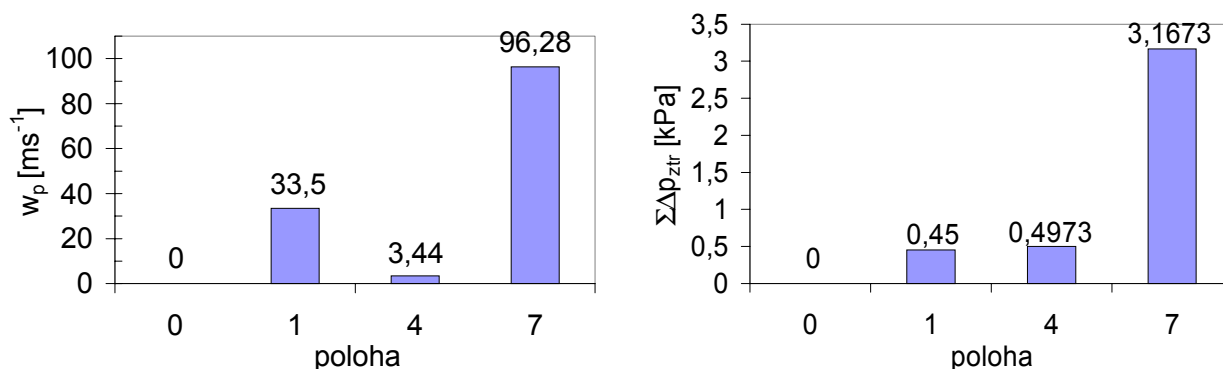


Obr.4 Stavy páry v charakteristických bodech zařízení (dole podrobněji)



- 1) Hlavní tlakový odpor proti proudění páry je v odpadní trubce
- 2) Výtoková rychlost páry je  $w_7 = 96,28 \text{ ms}^{-1}$  (viz. ukázka výpisu).
- 3) Tlak v pařící kádě je maximální a rovná se přibližně tlaku v přívodním potrubí (viz body 0, 1, 4 na obr.3).
- 4) Z odpadní trubky vytéká mírně přehřátá pára (viz bod 7).

Změna rychlostí a tlakové ztráty v charakteristických bodech jsou znázorněny na obr. 5 a 6. Jak je vidět, největší rychlosti a tlakové ztráty jsou v odpadní trubce. Tento jev možno logicky zdůvodnit malým průměrem odpadní trubky. Z odpadní trubky vytéká pára mírně přehřátá a v odpadní nádrži se ochlazuje resp. kondenzuje na kapalinu. Malá průtočná hmotnost páry ve výstupním průřezu (viz výpis výsledků výpočtu)  $\text{hmt}_7 = 0,0257 \text{ kg.s}^{-1}$  stačí zkondenzovat.



Obr.5 a 6 Rychlosti a tlaky v označené poloze 0,1,4,7

## 6. ZÁVĚR

V předloženém příspěvku jsou uvedeny výsledky prvního výpočtu. Sestavené programy umožňují analyzovat i další jevy, které se mohou při provozu vyskytnout. Jako první krok se nabízí analýza vlivu zvětšení průměru odpadní trubky. Lze očekávat, že průtok média pařícím zařízením se zvýší. Proces napařování dřeva by se mohl zkrátit a tím by se zvýšila efektivnost zařízení. Konečný závěr k tomuto návrhu je možno přijmout až po vyřešení nestaciárního ohřevu a napařování bloku dřeva. V tomto směru by mohl další výzkum pokračovat.

Našla by se i jiná témata dalšího výzkumu, např. snížení spotřeby páry, studium jevů, které se mohou při provozu neočekávaně vyskytnout, jako např. co by se mohlo stát, kdyby se ucpal odvod do odpadní trubky. Co by se stalo, kdyby se přední víko otevřelo a ve vaně by byl vyšší tlak než v okolní atmosféře tj. případ, kdy selže otevření výfuku a další.

## Použitá literatura

- [1] Enenkl V., Hloušek J., Janotková E., Termomechanika, skriptum VUT, SNTL Praha 1981.
- [2] Hloušek J a kol. Termomechanika, skriptum VUT, nakladatelství VUT, Brno 1992.
- [3] Bruce E. Munson, Donald F. Young, Theodore H.Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, John Wiley&Sons, New York, 1990.