

**MATEMATICKÝ MODEL PRE STANOVENIE NORMATÍVU
SPOTREBY TEPLA NA PLASTIFIKÁCIU PREGLEJKÁRENSKÝCH
VÝREZOV A PRIZIEM V BAZÉNOCH PRE TERMICKÚ ÚPRAVU
DREVA**

**MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATION STANDARD VALUES FOR
HEAT ENERGY CONSUMPTION DURING THE PLASTICIZATION
PROCESS OF WOOD LOGS AND PRISMS BY HOT WATER IN PITS**

Ladislav Dzurenda – Nencho Deliiski

ABSTRACT

In this paper a mathematical model for calculation of scientifically based, technically justified standard values of the heat energy consumption during the plasticization process of wood logs and prisms by hot water in pits is presented.

The concerned technically justified standard values shows the real heat energy consumption needed for unit of manufactured products in the technological process.

As example of application of the model the heat energy consumption, needed for plasticization of beech prisms with dimensions of $0.4 \times 0.4 \times 1.2$ m, initial temperature $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and moisture content 80 % during their heating in pit with dimensions $1.7 \times 6.6 \times 2.0$ m with water temperature $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ until reaching of $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ in prisms' centre is calculated. The value of the technically justified heat energy consumption in this case is equals to $Q_{\text{TZN}} = 0.634\text{ GJ}\cdot\text{m}^{-3}$.

Key words: wood plasticizing, pit, hot water, mathematical model, standards for heat energy consumption.

ÚVOD

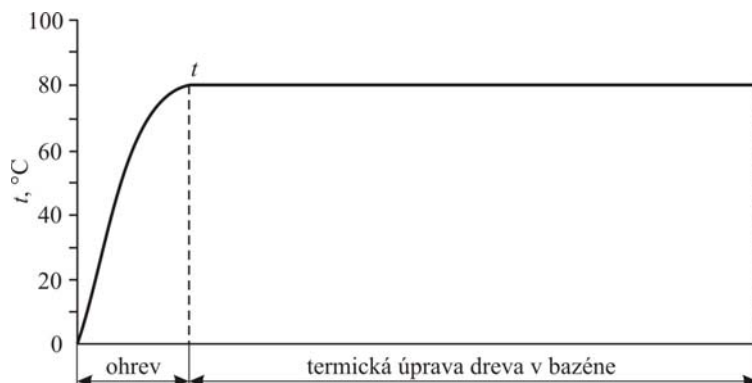
Varenie dreva je technologický proces, v ktorom sa mokré drevo ohrieva v horúcej vode a menia sa jeho fyzikálne, mechanické a čiastočne i chemické vlastnosti. Termická úprava dreva preglejkárenských výrezov a priziem sa vykonáva za účelom plastifikácie dreva t.j. zmäknutiu strednej lamely bunčných stien dreva s vlhkosťou nad medzou hygroskopickosti a znižovaní rezného odporu pri delení dreva rezným klinom krájacieho alebo lúpacieho noža v procese tvorby dýhy (NIKOLOV *et al.* 1980, SERGOVSKIJ 1975, SOCHOR – KADLEC 1990, LAWNICZAK 1995, MAHÚT *et al.* 1998, TREBULA – KLEMENT 2002, DZURENDA – DELIISKI 2010).

Proces termickej úpravy dreva v bazénoch so spotrebou sýtej pary $m = 17,5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{hod}^{-1}$ na ohrev technologickej vody, ako uvádza LAWNICZAK (1995), sa radí medzi technologické procesy s vysokou spotrebou tepla. Jednou z možností ako racionalizovať spotrebu tepla v procese termickej úpravy dreva vo vodných bazénoch a tým zvyšovať celkovú efektívnosť tejto technologickej operácie je analyzovanie spotrieb tepla procesu plastifikácie dreva prostredníctvom technicky zdôvodniteľných noriem.

Cieľom tohto príspevku je prezentácia matematického modelu pre výpočet normatívu – technicko zdôvodniteľnej normy (TZN) spotreby tepla na plastifikáciu dýharenských výrezov a priziem pre výrobu lúpaných, resp. krájaných dých v bazénoch termickej úpravy dreva.

TECHNOLOGICKÝ PROCES PLASTIFIKÁCIE DÝHARENSKÝCH VÝREZOV A PRIZIEM V BAZÉNOCH PRE TERMICKÚ ÚPRAVU DREVA

Technologický proces, termickej úpravy dreva v bazénoch, sa vykonáva ohrievaním ponoreného dreva vo forme výrezov alebo priziem v horúcej technologickej vode, podľa jednostupňového režimu termickej úpravy dreva, obr. 1.



Obr. 1 Jednostupňový režim plastifikácie dýharenských výrezov a priziem v bazénoch pre termickú úpravu dreva.

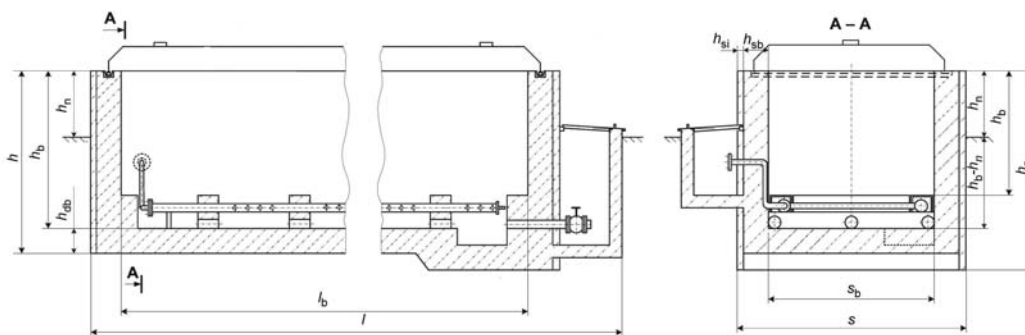
Fig. 1 One-stage regime for plasticization of wood logs and prisms by hot water in pits.

Bazén pre termickú úpravu dreva je betónová nádrž s výstužou betónových stien a dna oceľovou armatúrou. Teleso betónovej nádrže bazéna je hydroizolované, tak proti unikaniu horúcej technologickej vody z bazéna, ako aj proti vnikaniu spodnej vody do bazéna. Zvislé steny obvodového plášťa bazéna sú tepelne izolované, za účelom znížovania hustoty tepelného toku z horúcej technologickej vody do atmosférického vzduchu v nadzemnej časti bazéna a tepelného toku do pôdy v časti korpusu bazéna umiestnenej v pôde.

Technické riešenie izolácie betónovej nádrže je v súčasnosti dvojaké. Konštruktéri firmy LIGNOTECH ET Sofia vkladajú izolačnú vrstvu o hrúbke $h_{si} = 10$ cm do betónu obvodového plášťa varného bazéna hrubého $h_{sb} = 0,3$ m, čím sa tvorí kompaktný monoblok. Iným technickým riešením izolácie bazénov pre termickú úpravu dreva je obloženie, z vonkajšej strany zvislých betónových stien obvodového plášťa bazéna $h_{sb} = 0,25$ vystužených oceľovou armatúrou, hydrofóbnym tepelne izolačným materiálom, akým je napríklad penové sklo - FOAMGLAS.

Počas procesu termickej úpravy dreva je bazén pre termickú úpravu dreva uzatváraný odoberateľným krytom za účelom, tak ochrany pracovníkov pred pádom do pracovného priestoru bazéna, ako aj eliminácie tepelných strát vo forme intenzívneho vyparovania horúcej technologickej vody do ovzdušia. Stena obvodového plášťa bazéna je ukončená žliabkom naplnenom vodou, do ktorého je pri zatvorení bazéna ponorený vyčnievajúci lem krytu bazéna, čím sa vytvára dokonalý vodný uzáver. V priestore medzi hladinou technologickej vody varného bazéna a krytom bazéna sa počas technologického procesu nachádza vlhký vzduch s relatívnou vlhkosťou $\varphi = 94-98$ % a teplotou o cca 5 °C než je teplota horúcej technologickej vody (SETNÍČKA 1970).

Ohrev technologickej vody vo varných bazénoch na požadovanú technologickú teplotu je vykonávaný nepriamo prostredníctvom vyhrievacích telies (kaloriferov) bazéna. Kalorifery pripojené na tepelný systém závodu, sú ohrievané teplonosným médiom o teplote $t = 120 \div 140$ °C. Rez korpusom bazéna pre termickú úpravu dreva je na obr. 2.



Obr. 2 Rez korpusom bazéna pre termickú úpravu dreva strednej veľkosti podľa projektovej dokumentácie firmy LIGNOTHERM Ltd. Sofia.

Fig. 2 A cross section of pit for plasticization of wood logs and prisms according to the project documentation of LIGNOTHERM Ltd. Sofia.

MATEMATICKÝ MODEL TECHNICKO ZDÔVODNITELNEJ NORMY SPOTREBY TEPLA NA PLASTIFIKÁCIU DREVA V BAZÉNOCH PRE TERMICKÚ ÚPRAVU DREVA

Model technicko-zdôvodniteľnej normy (TZN) spotreby tepla na plastifikáciu dreva v bazénoch pre termickú úpravu dreva vyjadruje objektívne nutné množstvo tepla spotrebované na ohrev 1 m^3 nezmrznutého dreva na požadovanú teplotu, pri akceptovaní technologickej požiadavky na kvalitu vody vo vodnom bazéne na začiatku technologickej operácie $\text{pH} = 7$, t.j. technologická voda na počiatku procesu termickej úpravy dreva nie je kontaminovaná zriedenými organickými kyselinami a inými vodou vyľuhovateľnými látkami z predchádzajúceho procesu termickej úpravy dreva. Model normatívu TZN matematicky popisuje rovnica:

$$Q_{\text{TZN}} = \frac{Q_D + Q_A + Q_{AK} + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_S + Q_{VZ}}{V_D}, \quad (1)$$

- kde: Q_D – teplo potrebné na ohrev termicky upravovaného dreva na požadovanú teplotu, J;
 Q_A – teplo potrebné na ohrev konštrukčného materiálu bazéna, J;
 Q_{AK} – teplo potrebné na ohrev vyhrievacích telies (kaloriferov) bazéna, J;
 $Q_{\text{H}_2\text{O}}$ – teplo potrebné na ohrev technologickej vody v bazéne, J;
 Q_S – teplo potrebné na krytie tepelných strát bazéna počas technologickeho procesu nahrievania dreva, J;
 Q_{VZ} – teplo potrebné na ohrev vlhkého vzduchu v priestore medzi hladinou technologickej vody a krytom bazéna, J;
 V_D – objem termicky upravovaného dreva v bazéne, m^3 .

Teplo potrebné na ohrev termicky upravovaného dreva na technologickejšiu teplotu, pri vlhkosti dreva $w > 30\%$ možno vypočítať prostredníctvom nasledovných rovníc:

$$Q_D = V_D \cdot \left[\rho_R \cdot \left(1 + \frac{W}{100} \right) \right] \cdot c_D \cdot (T_{D2} - T_D) \quad (2)$$

- kde: ρ_R – redukovaná hustota dreva, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 W – absolútna vlhkosť termicky upravovaného dreva, %,

c_D – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity mokrého dreva ($J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$), pri vlhkosti $w > 30 \%$ v intervale termodynamických teplôt T_{D2} a T_D , DELIISKI (1980):

$$c_D = \frac{2862 \frac{W}{100} + 555}{1 + \frac{W}{100}} + \frac{5,49 \frac{W}{100} + 2,95}{1 + \frac{W}{100}} \cdot \frac{T_D + T_{D2}}{2} + \frac{0,0036}{1 + \frac{W}{100}} \left(\frac{T_D + T_{D2}}{2} \right)^2, \quad (3)$$

$T_{D2} = 273,15 + t_{D2}$, termodynamická teplota dreva na konci ohrevu v rámci procesu termickej úpravy, K;

$T_D = 273,15 + t_D$, termodynamická teplota dreva na počiatku termickej úpravy, K;

Teplo potrebné na ohrev konštrukčného materiálu bazéna pozostáva z akumulácie tepla stien nadzemnej časti obvodového plášťa bazéna Q_{A1} , akumulácie tepla stien obvodového plášťa bazéna nachádzajúcich sa v pôde Q_{A2} , akumulácie tepla dnom bazéna Q_{A3} a akumulácie tepla krytu bazéna Q_{A4} :

$$Q_A = Q_{A1} + Q_{A2} + Q_{A3} + Q_{A4} \quad (4)$$

Teplo potrebné na ohrev konštrukcie stien korpusu nadzemnej časti obvodového plášťa bazéna Q_{A1} :

$$Q_{A1} = [2(l_b + s_b + 2h_{sb})h_n \cdot h_{sb} \cdot \rho_b]c_b \cdot \left[\frac{t_{bs1} + t_{bns2}}{2} - t_{bn} \right] + [2(l_b + s_b + 2h_{sb} + 2h_{si})h_n \cdot h_{si} \cdot \rho_i]c_i \cdot \left[\frac{t_{bns2} + t_{ins3}}{2} - t_{in} \right], \quad (5)$$

Teplo potrebné na ohrev konštrukcie stien obvodového plášťa bazéna umiestnených v pôde Q_{A2} :

$$Q_{A2} = [2(l_b + s_b + 2h_{sb})(h_b - h_n) \cdot h_{sb} \cdot \rho_b]c_b \cdot \left[\frac{t_{bs1} + t_{bps2}}{2} - t_{bp} \right] + [2(l_b + s_b + 2h_{sb} + 2h_{si})(h_b - h_n) \cdot h_{si} \cdot \rho_i]c_i \cdot \left[\frac{t_{bps2} + t_{ips3}}{2} - t_{ip} \right], \quad (6)$$

Teplo potrebné na ohrev konštrukcie dna korpusu bazéna v pôde Q_{A3} :

$$Q_{A3} = [s_b \cdot l_b \cdot h_{db} \cdot \rho_b]c_b \cdot \left[\frac{t_{db1} + t_{db2}}{2} - t_{db} \right], \quad (7)$$

Teplo potrebné na ohrev konštrukcie krytu bazéna Q_{A4} :

$$Q_{A4} = l_b \cdot s_b \cdot (2h_{Fe} \cdot \rho_{Fe} \cdot c_{Fe} + h_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot c_{ik}) \left[\frac{t_{kb1} + t_{kb2}}{2} - t_0 \right], \quad (8)$$

kde: l_b – dĺžka bazéna, m;

s_b – šírka bazéna, m;

h_b – hĺbka bazéna, m;

h_n – hĺbka nadzemnej časti bazéna, m;

h_{sb} – hrúbka betónu steny obvodového plášťa bazéna, m;

ρ_b – hustota betónu steny obvodového plášťa bazéna, $kg \cdot m^{-3}$;

c_b – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity betónu steny obvodového plášťa a dna bazénu, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;

h_{si} – hrúbka izolácie steny obvodového plášťa bazéna, m;

ρ_i – hustota izolácie steny obvodového plášťa bazéna, $kg \cdot m^{-3}$;

c_i – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity izolácie steny obvodového plášťa bazénu, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;

t_{bn} – teplota betónu steny obvodového plášťa nadzemnej časti bazéna na počiatku procesu termickej úpravy dreva, pri nepretržitej prevádzke teplota betónu je o 20 °C až 30 °C nižšia než teplota technologickej vody t_{H_2O} z predchádzajúceho procesu termickej úpravy (DZURENDA – DELIISKI 2010), °C;

t_{in} – teplota izolácie steny obvodového plášťa nadzemnej časti bazéna na počiatku procesu termickej úpravy dreva, °C;

t_{bp} – teplota betónu steny obvodového plášťa bazéna v pôde na počiatku procesu termickej úpravy dreva, pri nepretržitej prevádzke teplota betónu je o 20 °C až 30 °C nižšia než teplota technologickej vody t_{H_2O} z predchádzajúceho procesu termickej úpravy, °C;

t_{ip} – teplota izolácie steny obvodového plášťa bazéna v pôde na počiatku procesu termickej úpravy dreva, °C;

$t_{bs1} \approx t_{H_2O}$ povrchová teplota betónovej steny obvodového plášťa bazéna v styku s technologickej vodou v procese termickej úpravy dreva, °C;

t_{bns2} – povrchová teplota betónovej steny nadzemnej časti obvodového plášťa bazéna v styku s izoláciou v procese termickej úpravy dreva, °C;

$$t_{bns2} = t_{H_2O} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} \right) = t_{H_2O} - \frac{(t_{H_2O} - t_0) \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} \right)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}, \quad (9)$$

t_{ins3} – povrchová teplota izolačnej vrstvy steny nadzemnej časti obvodového plášťa bazéna v styku s atmosférickým vzduchom v procese termickej úpravy dreva, °C;

$$t_{ins3} = t_{H_2O} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} \right) = t_{H_2O} - \frac{(t_{H_2O} - t_0) \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} \right)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}, \quad (10)$$

t_{bps2} – povrchová teplota betónovej časti steny obvodového plášťa bazéna v pôde v styku s izoláciou v procese termickej úpravy dreva, °C;

$$t_{bps2} = t_{H_2O} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} \right) = t_{H_2O} - \frac{(t_{H_2O} - t_p) \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} \right)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} + \frac{1}{\lambda_p} \right)}, \quad (11)$$

t_{ips3} – povrchová teplota izolačnej vrstvy, časti steny obvodového plášťa bazéna v pôde, počas procesu termickej úpravy dreva, °C;

$$t_{ips3} = t_{H_2O} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} \right) = t_{H_2O} - \frac{(t_{H_2O} - t_p) \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} \right)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} + \frac{1}{\lambda_p} \right)}, \quad (12)$$

$\alpha_1 = 0,74 \cdot (3,7 \cdot t_{H_2O} + 228) \sqrt{|\Delta t|}$, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$; koeficient prestupu tepla medznou vrstvou z technologickej vody do betónovej steny bazéna pri teplotnom spáde v medznej vrstve $\Delta t = t_{H_2O} - t_{st} = 0,15 \div 0,25$ °C,

λ_{sb} – koeficient tepelnej vodivosti betónovej steny obvodového plášťa bazéna, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;

λ_{si} – koeficient tepelnej vodivosti materiálu izolačnej vrstvy steny obvodového plášťa bazéna, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;

$\alpha_2 = 6,2 + 4,2 \cdot w_0$, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$; koeficient prestupu tepla z povrchu obvodového plášťa bazéna do ovzdušia pri rýchlosti prúdenia vzduchu v atmosfére $w_0 = 0,5 \div 2,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$,
 λ_p – koeficient tepelnej vodivosti pôdy okolo materiálu stien obvodového plášťa bazéna:
 $\lambda_p = 2,30 \text{ W} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pre ílovito-kamenistú pôdu (CIHELKA 1969);
 $\lambda_p = 1,40 \text{ W} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pre hlinito-piesčitú pôdu, $\lambda_p = 0,90 \text{ W} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pre pieskovec (HALAHYJA *et al.* 1998);
 h_{Fe} – hrúbka plechu steny krytu bazéna, m;
 ρ_{Fe} – hustota plechu steny krytu bazéna, $kg \cdot m^{-3}$;
 c_{Fe} – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity plechu krytu bazéna, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;
 h_{ik} – hrúbka izolácie steny krytu bazéna, m;
 ρ_{ik} – hustota izolácie steny krytu bazéna, $kg \cdot m^{-3}$;
 c_{ik} – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity izolácie krytu bazéna, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;
 $t_{kb1} = t_{m2} = (t_2 - \Delta t) = (t_2 - 1)$, °C; povrchová teplota krytu bazéna v mieste styku s vlhkým vzduchom nad hladinou technologickej vody s relatívnou vlhkosťou $\varphi = 94\text{--}98\%$ počas termickej úpravy dreva. Psychrometrická diferencia vlhkého vzduchu danej relatívnej vlhkosti $\Delta t = t_s - t_m \approx 1$, °C;
 $t_2 = (t_{H_2O} - 5)$; °C, teplota vlhkého vzduchu v priestore nad hladinou technologickej vody v bazéne počas termickej úpravy dreva je o $\Delta t \approx 5$ °C nižšia než teplota technologickej vody (SETNIČKA 1970),
 t_{kb2} – povrchová teplota krytu bazéna v styku s atmosférickým vzduchom počas termickej úpravy dreva, °C;

$$t_{kb2} = t_2 - q \left(\frac{h_{ik}}{\lambda_{ik}} \right) = t_2 - \frac{(t_2 - t_0) \left(\frac{h_{ik}}{\lambda_{ik}} \right)}{\left(\frac{1}{\alpha_{kb1}} + \frac{h_{ik}}{\lambda_{ik}} + \frac{1}{\alpha_{kb2}} \right)}, \quad (13)$$

λ_{ik} – koeficient tepelnej vodivosti izolácie krytu bazéna, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
 $\alpha_{kb1} = 2,8 \sqrt{\Delta t} \approx 2,8 \text{ W} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$; koeficient prestupu tepla z vlhkého vzduchu relatívnej vlhkosti $\varphi = 0,94 \div 0,98$ nad hladinou technologickej vody v bazéne do konštrukcie krytu bazéna,
 $\alpha_{kb2} = 6,2 + 4,2 \cdot w_0$, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, koeficient prestupu tepla z povrchu krytu bazéna do ovzdušia pri rýchlosti prúdenia vzduchu v atmosfére $w_0 = 0,5 \div 2,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$;
 t_0 – teplota vzduchu v atmosfére, °C.

Teplo potrebné na ohrev vyhrievacích telies (kalfierov) vodného bazéna na počiatku technologického procesu:

$$Q_{AK} = l_b \cdot s_b \cdot m_K \cdot c_{Fe} \cdot (t_K - t_{H_2O-1}), \quad (14)$$

kde: l_b – dĺžka obvodového plášťa bazéna, m;
 s_b – šírka obvodového plášťa bazéna, m;
 $m_K \approx 100 \text{ kg} \cdot m^2$, hmotnosť vykurovacích telies (kalfierov) na ploche 1 m^2 varného bazéna,
 $c_{Fe} = 477 \text{ J} \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity materiálu vykurovacích telies (kalfierov), $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;
 $t_K \approx 120 \div 140$ °C, teplota na povrchu vykurovacích telies (kalfierov), °C;
 t_{H_2O-1} – teplota technologickej vody na počiatku termickej úpravy dreva, °C;

Teplo potrebné na ohrev vody na technologickú teplotu v bazéne pri predpoklade, že dno odtokového kanála nadbytočnej technologickej vody v bazéne je $h_{OK} = 0,1$ m pod horným okrajom bazéna:

$$Q_{H_2O} = [(s_b \cdot l_b (h_b - h_{o-k}) - V_D) \cdot \rho_{H_2O}] \cdot c_{H_2O} \cdot (t_{H_2O} - t_{H_2O-1}), \quad (15)$$

kde: l_b – dĺžka obvodového plášťa bazéna, m;

s_b – šírka obvodového plášťa bazéna, m;

h_b – hĺbka bazéna, m;

$h_{o-k} = 0,1$ m, hĺbka (vzdialenosť) odtokového kanála od horného okraja bazéna,

V_D – objem termicky upravovaného dreva v bazéne, m^3 ;

$\rho_{H_2O} = 998 \text{ kg} \cdot m^{-3}$, hustota technologickej vody v bazéne;

$c_{H_2O} = 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity technologickej vody v bazéne;

t_{H_2O} – teplota technologickej vody v procese termickej úpravy dreva, $^{\circ}\text{C}$;

t_{H_2O-1} – teplota technologickej vody na počiatku termickej úpravy dreva, $^{\circ}\text{C}$;

Teplo potrebné na krytie tepelných strát bazéna termickej úpravy dreva počas technologickeho procesu pozostáva z tepelnými strát prechodom tepla z technologickej vody do ovzdušia zvislými stenami nadzemnej časti korpusu bazéna Q_{s1} , tepelnými stratami prechodom tepla z technologickej vody do pôdy zvislými stenami obvodového plášťa bazéna nachádzajúcimi sa pôde Q_{s2} , tepelnými stratami prechodom tepla z technologickej vody do pôdy dnom bazéna Q_{s3} a tepelnými stratami prestupom tepla z krytu bazéna do atmosféry Q_{s4} , pri zohľadnení požiadaviek BOZP, ktorá pripúšťa teplotu povrchu poklopu bazéna do hodnoty $t_p \leq 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} \quad (16)$$

Tepelné straty prechodom tepla z technologickej vody do ovzdušia zvislými stenami nadzemnej časti korpusu bazéna Q_{s1}

$$Q_{s1} = 3600 \left[\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} + \frac{1}{\alpha_2}} [2 \cdot (s_b + l_b) h_n] (t_{H_2O} - t_0) (\tau - \tau_{OH}) \right], \quad (17)$$

Tepelné straty prechodom tepla z technologickej vody do pôdy zvislými stenami obvodového plášťa bazéna nachádzajúcimi sa v pôde Q_{s2}

$$Q_{s2} = 3600 \left[\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{sb}}{\lambda_{sb}} + \frac{h_{si}}{\lambda_{si}} + \frac{1}{\lambda_p}} [2 \cdot (s_b + l_b) (h_b - h_n)] (t_{H_2O} - t_p) (\tau - \tau_{OH}) \right], \quad (18)$$

Tepelné straty prechodom tepla z technologickej vody do pôdy dnom bazéna Q_{s3}

$$Q_{s3} = 3600 \left[\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h_{db}}{\lambda_{db}} + \frac{1}{\lambda_p}} [s_b \cdot l_b] (t_{H_2O} - t_p) (\tau - \tau_{OH}) \right], \quad (19)$$

Tepelné straty prestupom tepla z krytu bazéna do atmosférického vzduchu Q_{s4} ,

$$Q_{s4} = 3600[\alpha_{kb2} \cdot (l_b \cdot s_b)(t_{kb2} - t_0)(\tau - \tau_{OH})] \quad (20)$$

kde: l_b – dĺžka bazéna, m;
 s_b – šírka bazéna, m;
 h_b – hĺbka bazéna, m;
 h_n – hĺbka nadzemnej časti bazéna, m;
 h_{sb} – hrúbka betónovej steny obvodového plášťa a dna bazéna, m;
 λ_{sb} – koeficient tepelnej vodivosti betónovej steny obvodového plášťa bazéna, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
 h_{si} – hrúbka izolácie steny obvodového plášťa bazéna, m;
 λ_{si} – koeficient tepelnej vodivosti materiálu izolačnej vrstvy steny obvodového plášťa bazéna, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
 $\alpha_1 = 0,74 \cdot (3,7 \cdot t_{H2O} + 228) \sqrt{|\Delta t|}$, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$; koeficient prestupu tepla medznou vrstvou z technologickej vody do betónovej steny bazéna pri teplotnom spáde v medznej vrstve $\Delta t = t_{H20} - t_{st} = 0,15 \div 0,25$ °C,
 $\alpha_2 = 6,2 + 4,2 \cdot w_0$, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$; koeficient prestupu tepla z povrchu obvodového plášťa bazéna do ovzdušia pri rýchlosti prúdenia vzduchu v atmosfére $w_0 = 0,5 \div 2,5$ $m \cdot s^{-1}$,
 λ_p – koeficient tepelnej vodivosti pôdy okolo materiálu stien obvodového plášťa bazéna:
 $\lambda_p = 2,30$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pre ílovito-kamenistú pôdu,
 $\lambda_p = 1,40$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pre hlinito-piesčitú pôdu,
 $\lambda_p = 0,90$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pre pieskovec,
 $\alpha_{kb2} = 6,2 + 4,2 \cdot w_0$, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, koeficient prestupu tepla z povrchu krytu bazéna do ovzdušia pri rýchlosti prúdenia vzduchu v atmosfére $w_0 = 0,5 \div 2,5$ $m \cdot s^{-1}$
 t_{kb2} – povrchová teplota krytu bazéna v styku s atmosférickým vzduchom v procese termickej úpravy dreva, (rovnica 14), °C;
 t_0 – teplota atmosférického vzduchu, °C;
 τ – čas procesu termickej úpravy dreva v bazéne, hod;
 τ_{OH} – čas ohrevu technologickej vody na prevádzkovú teplotu, hod.

Teplo potrebné na ohrev vlhkého vzduchu v priestore medzi hladinou technologickej vody a krytom bazéna, pri vzdialenosti hladiny od krytu $h_{o-k} = 0,1$ m.

$$Q_{vz} = m_{sv} (h_2 - h_0) = \frac{(p - \varphi_0 p_{p0}) \cdot (s_b \cdot l_b \cdot h_{o-k})}{287 \cdot (273,15 + t_0)} \cdot (h_2 - h_0), \quad (21)$$

kde: m_{sv} – hmotnosť suchého vzduchu v priestore medzi hladinou technologickej vody a krytom bazéna, kg;
 $p = 10^5$ Pa, atmosférický tlak vzduchu;
 φ_0 – relatívna vlhkosť atmosférického vzduchu, -;
 $p_{p0}'' = 10^{\left(\frac{658+10,24 \cdot t_0}{236+t_0}\right)}$ parciálny tlak sýtej vodnej pary v atmosférickom vzduchu pri teplote t_0 , HORÁK (1984); Pa;
 t_0 – teplota atmosférického vlhkého vzduchu, °C;
 s_b – šírka bazéna, m;
 l_b – dĺžka bazéna, m;
 $h_{o-k} = 0,1$ m, vzdialenosť hladiny technologickej vody v bazéne od horného okraja bazéna, m;

$$h_2 = 1005t_2 + 0,622 \frac{\varphi_2 \cdot p_{p2}}{p - \varphi_2 \cdot p_{p2}} (1860t_2 + 2,5 \cdot 10^6), \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{ entalpia vlhkého vzduchu nad}$$

hladinou v bazéne počas technologického procesu termickej úpravy dreva,
 $t_2 = (t_{\text{H}_2\text{O}} - 5) \text{ } ^\circ\text{C}$, teplota vlhkého vzduchu v priestore nad hladinou technologickej vody
v bazéne počas termickej úpravy dreva je o $\Delta t \approx 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ nižšia než teplota
technologické vody, SETNIČKA (1969),

$\varphi_2 = 0,94 - 0,98$, relatívna vlhkosť vzduchu nad hladinou technologickej vody v bazéne
medzi hladinou a krytom počas technologického procesu termickej úpravy dreva,

$$p_{p2}'' = 10^{\left(\frac{658+10,24t_2}{236+t_2}\right)}, \text{ parciálny tlak sýtej vodnej pary vo vlhkom vzduchu pri teplote } t_2, \\ \text{HORÁK (1984); Pa,}$$

$$h_0 = 1005 \cdot t_0 + 0,622 \frac{\varphi_0 p_{p0}}{p - \varphi_0 p_{p0}} (1860 \cdot t_0 + 2,5 \cdot 10^6), \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{ entalpia atmosférického vlhkého}$$

vzduchu,

t_0 – teplota vlhkého atmosférického vzduchu, $^\circ\text{C}$;

φ_0 – relatívna vlhkosť atmosférického vzduchu, -;

$$p_{p0}'' = 10^{\left(\frac{658+10,24t_0}{236+t_0}\right)}, \text{ parciálny tlak nasýtenej vodnej pary v atmosférickom vzduchu; HORÁK} \\ \text{(1984); Pa.}$$

Objem termicky upravovaného dreva V_D vo vodnom bazéne je limitovaný úžitkový objemom vodného bazéna, ktorý pre pravouhlé sortimenty termicky upravovaného dreva nepresahuje hodnotu 60 % a pre valcové sortimenty hodnotu 75 % celkového technologického priestoru bazéna (REGINÁČ 1990, HNĚTKOVSKÝ 1983).

$$V_D \leq k \cdot V_A = k \cdot [s_b \cdot (h_b - h_{o-k}) \cdot l_b], \quad (22)$$

kde: k – koeficient priestorového využitia vnútorného objemu bazéna; -,

$k \leq 0,60$, pre pravouhlé sortimenty dreva,

$k \leq 0,75$, pre výrezy a valcové sortimenty dreva uložené na prekladoch;

V_A – vnútorný objem vodného bazéna; m^3 ;

s_b – šírka bazéna, m;

h_b – hĺbka bazéna, m;

$h_{o-k} = 0,1 \text{ m}$; vzdialenosť hladiny technologickej vody v bazéne od horného okraja bazéna;

l_b – dĺžka bazéna, m.

Predmetný model výpočtu normatívu technicko-zdôvodniteľnej normy spotreby tepla varného bazéna pre termickú úpravu dreva spracovaný do programu EXCEL formou výpočtovej tabuľky: *MATEMATICKÝ MODEL PRE VÝPOČET TZN SPOTREBY TEPLA NA TERMICKÚ ÚPRAVU DEVA VO VODNÝCH BAZÉNOCH* (DZURENDA – DELIISKI 2010). Na základe technicko-technologických parametrov bazénu, sortimente termicky upravovaného dreva a režimu termickej úpravy dreva, program poskytuje informácie tak o spotrebe tepla jednotlivých položiek tepelnej bilancie termického procesu, ako aj hodnotu samotného normatívu TZN spotreby tepla na 1 m^3 termicky upravovaného dreva.

Príkladom aplikácie výpočtu TZN spotreby tepla termickej úpravy dreva v bazéne (obr. 2) je plastifikácia objemu $V_D = 12 \text{ m}^3$ bukových priziem prierezu $0,4 \times 0,4 \text{ m}$ dĺžky $1,2 \text{ m}$ priemernej vlhkosti $W = 80 \%$ na priemernú teplotu $t_{b2} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ technologickou vodou teploty $t_{\text{H}_2\text{O}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ podľa jednostupňového režimu firmy LIGNOTECH ET Sofia. Proces termickej úpravy dreva pri zachovaní pôvodnej farby dreva trvá $\tau = 16 \text{ hod}$.

Technicko-technologické parametre bazéna sú: dĺžka bazéna $l_b = 6,6 \text{ m}$, šírka bazéna $s_b = 2,0 \text{ m}$, hĺbka bazéna $h_b = 1,7 \text{ m}$. Hrúbka železobetónovej steny obvodového plášťa a dna

varného bazéna $h_{sb} = h_{db} = 0,3$ m a tepelnej izolácie stien obvodového plášťa varného bazéna $h_{si} = 0,1$ m. Výška nadzemnej časti obvodového plášťa bazéna $h_n = 0,8$ m. Kryt bazéna tvorený z oceľového rámu profilov tvaru „I“ obojstranne oplášťovaný plechom z nehrdzavejúcej ocele $h_{Fe} = 4$ mm. Medzi oceľovými plechmi sa nachádza tepelná izolácia Rotaflux hrúbky $h_{ik} = 0,1$ m.

Počiatočná teplota technologickej vody a termicky upravovaného dreva je $t_{H_2O} = t_D = 10$ °C. Priemerná teplota stien betónu obvodového plášťa a dna bazéna na počiatku technologického procesu pri nepretržitej prevádzke je $t_{sb} = t_{db} = 70$ °C. Teplota materiálu krytu bazéna po zakrytí bazéna $t_{Fe} = t_{ik} = 10$ °C. Atmosférický vzduch s tlakom $p = 0,1$ MPa má relatívnu vlhkosť $\varphi = 60$ % a teplotu $t_0 = 10$ °C. Rýchlosť prúdenia vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry $w_0 = 2$ m·s⁻¹. Teplota ilovito-kamenitej pôdy je $t_p = 6$ °C.

Výsledky analýzy, bilancie spotrieb tepla bazéna počas procesu termickej úpravy dreva bukových prziem a hodnotu TZN spotreby tepla na 1 m³ termicky upraveného bukového dreva uvádza tabuľka 1.

Tab. 1 Spotreba tepla v procese termickej úpravy dreva bukových prziem prierezu: 0,4 × 0,4 m, dĺžky L = 1,2 m, z počiatočnej teploty 10 °C a priemernej vlhkosti W = 80 %, na teplotu 70 °C, v bazéne s rozmermi 1,7 × 6,6 × 2,0 m pri teplote technologickej vody $t_{H_2O} = 80$ °C.

Tab. 1 Heat energy consumption for the plasticization of beech prisms with dimensions 0.4 × 0.4 × 1.2 m, initial temperature 10°C and moisture content 80 % during their heating in pit with dimensions 1.7 × 6.6 × 2.0 m with water temperature t_{H_2O} 80 °C until reaching of 70 °C in prisms' centre.

Názov položky spotreby tepla	Symbol	kJ	% podiel spotreby tepla
Teplo na ohrev termicky upravovaného dreva	Q_D	2 216 230	29,12
Teplo na ohrev konštrukčného materiálu bazéna	Q_A	2 285 017	30,02
Teplo na ohrev technologickej vody v bazéne	Q_{H_2O}	2 675 914	35,15
Teplo na krytie tepelných strát bazéna	Q_S	356 810	4,69
Teplo na ohrev a nasýtenie vlhkého vzduchu v priestore medzi hladinou a krytom bazéna	Q_{VZ}	2 184	0,03
Teplo na ohrev kaloriferov bazéna	Q_{AK}	75 557	0,99
Celková spotreba tepla na plastifikáciu	$\sum Q_i$	7 611 785	100,00
Normatív TZN	Q_{TZN}	634 315 kJ·m⁻³	

Z analýzy podielu jednotlivých položiek spotreby tepla plynie, že najväčšie spotreby tepla v technologickom procese v bazéne pre termickú úpravu dreva sú: spotreba tepla na ohrev technologickej vody 35,12 %, spotreba tepla na ohrev betónu, izolácie a kaloriferov – varného bazéna 31,01 % a spotreba tepla na ohrev termicky upravovaného dreva 29,12 %. Spotreba tepla na krytie tepelných strát bazéna pre termickú úpravu dreva predstavuje hodnotu 4,69 % z celkovej spotreby tepla technologického procesu.

Normatív spotreby tepla na termickú úpravu dreva bukových prziem v bazéne termickej úpravy dreva predstavuje hodnotu $Q_{TZN} = 0,634$ GJ·m⁻³. Skutočnosť, že len 29,12 % sa z privedeného tepla priamo využíva na realizáciu technologického procesu svedčí o nízkej efektívnej účinnosti využitia tepla v termickom procese termickej úpravy dreva vo varných bazénoch. Uvedená hodnota je cca 2 až 2,5 krát nižšia, než je priame využitie tepla v technológiách parenia dreva realizovaných v tlakových autoklávoch (SOKOLOVSKI *et al.* 2008).

ZÁVER

V príspevku je uvedený matematický model pre výpočet TZN spotreby tepla na plastifikáciu preglejkárenských výrezov a priziem v bazénoch pre termickú úpravu dreva.

Aplikáciou uvedeného matematického modelu TZN na spotrebu tepla bazénu s rozmermi $1,7 \times 6,6 \times 2,0$ m pre termickú úpravu objemu $V_D = 12 \text{ m}^3$ bukových priziem prierezu $0,4 \times 0,4$ m dĺžky 1,2 m priemernej vlhkosti $W = 80 \%$ z teploty $t_D = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ na priemernú teplotu dreva v strede prizmy $t_{D2} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, technologickou vodou teploty $t_{H_2O} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, podľa jednostupňového režimu firmy LIGNOTECH ET Sofia, bola stanovená hodnota technicko-zdôvoditeľného normatívu spotreby tepla $Q_{TZN} = 0,634 \text{ GJ}\cdot\text{m}^{-3}$.

Z analýzy podielu jednotlivých položiek spotreby tepla plynie, že najväčšie spotreby tepla v procese termickej úpravy dreva sú: spotreba tepla na ohrev technologickej vody 35,12 %, ďalej nasleduje spotreba tepla na ohrev betónu, izolácie a kaloriferov – varného bazéna 31,01 % a treťou významnou položkou predstavujúcou hodnotu 29,12 %, je spotreba tepla na ohrev termicky upravovaného dreva.

Skutočnosť, že len 29,12 %, z privedeného tepla sa využíva priamo na realizáciu technologického procesu – termickú úpravu dreva, svedčí o nižšej efektívnosti využitia tepla v technologickom procese termickej úpravy dreva v bazénoch, než v pariacich autoklávoch.

LITERATÚRA

- CIHELKA, J. 1969. Vytápění a větrání. Praha: SNTL, 610 s.
- DELIISKI, N. 1990. Mathematische Beschreibung der spezifischen Wärmekapazität des aufgetauten und gefrorenen Holzes. In: Fundamental Research of Wood. Warszawa, s. 229–233.
- DZURENDA, L., DELIISKI, N. 2010. Termické procesy v technológiách spracovania dreva. Zvolen: TU vo Zvolene, 268 s.
- HALAHYJA, M., CHMÚRNÝ, I., STERNOVÁ, Z. 1998. Stavebná tepelná technika. Bratislava: JAGA GROUP, 247 s. ISBN 80-88905-04-4.
- HORÁK, M. 1988. Termofyzikálne vlastnosti vlhkého vzduchu. In: VIII. konferencia katedier mechanik tekutín a termomechaniky. Brno: SjöF VUT, s. 28–34.
- HNĚTOVSKÝ, V. *a kol.* 1983. Papírenská příručka. Praha: SNTL, 864 s.
- LAWNICZAK, M. 1995. Zarys hydrotermicznej i plastycznej obróbki drewna. Czesc I. – Warzenie i parzenie drewna. Poznan, 149 s.
- MAHÚT, J., RÉH, R., VÍGLASKÝ, J. 1998. Kompozitné drevné materiály. Časť I. Dýhy a preglejované výrobky. Zvolen: TU vo Zvolene, 266 s.
- NIKOLOV, S., RAJČEV, A., DELIISKI, N. 1980. Proparvane na drevsesinata. Sofia: Zemizdat, 223 s.
- REGINÁČ, L. *a kol.* 1990. Náuka o dreve II. Zvolen: VSLD, 424 s.
- SERGOVSKIJ, P. S. 1975. Hydrotermická úprava a sušenie dreva. Bratislava: ALFA, 402 s.
- SETNIČKA, F. 1970. Projektovanie tepelno-technických zariadení drevárskych závodov. Zvolen: VŠLD, 313 s.
- SOCHOR M., KADLEC, P. 1990. Hydrotermická úprava dreva pre výrobu dýh. Drevo, №2.
- SOKOLOVSKI, S., DELIISKI, N., DZURENDA, L. 2008. Teplovoj rasčet avtoklavov dla obrobki drevesiny. Annals of Warsaw Agricultural Univesity – SGGW, Forest and Wood Technology, 66: 59–64 ISSN 1898-5912.
- TREBULA, P., KLEMENT. 2002. Sušenie a hydrotermická úprava dreva. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 449 s.

PodĎakovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia projektov KEGA-SR č.1/6164/08 a NIS-LTU 105/2008, ako výsledok práce autorov a výraznej pomoci grantovej agentúry KEGA- SR a NIS-LTU Sofia.

Adresy autorov

Prof. Ing. Ladislav Dzurenda, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta, Katedra obrábania dreva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen, Slovensko
dzurenda@vsld.tuzvo.sk

Prof. Dr. Nencho Deliiski, DrSc.
Katedra – Mašinoznaniye i avtomatizacija proizvodstvoto
Fakultet Gorska promišlenost
Lesotečnički univerzitet Sofia
bul. "Kliment Ochridski" 10
1756 Sofia, Bulgaria
deliiski@netbg.com